

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ  
ЖУРНАЛ**

**Выходит 4 раза в год**

**Учредитель и издатель**

Пензенский государственный  
университет архитектуры  
и строительства

**Главная редакция:**

А.М. Данилов (главный редактор)  
Е.В. Королев (заместитель  
главного редактора)  
И.А. Гарькина (ответственный  
секретарь)

**Адрес редакции:**

440028, г.Пенза, ул.Германа Титова, 28,  
ПГУАС  
Тел/факс 8412 929501  
E-mail: regas@pguas.ru  
fmatem@pguas.ru  
www.rais.pguas.ru

Редакторы: М.А. Сухова  
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка  
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

Журнал зарегистрирован  
в Федеральной службе по надзору  
за соблюдением законодательства  
в сфере массовых коммуникаций  
и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации  
ПИ №ФС77-25956 от 13 октября 2006 г.

Подписной индекс:  
**36946** в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов  
несут ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность данных  
по цитируемой литературе и за исполь-  
зование в статьях данных, не подлежа-  
щих открытой публикации.

Редакция может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения, не разделяя точку  
зрения автора.

Подписано к печати 10.06.2017.  
Формат 60x84 1/8.  
Уч.-изд.л. 27,125. Тираж 500 экз. Первый завод 100.  
Заказ № 607.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ  
АРХИТЕКТУРА  
И СТРОИТЕЛЬСТВО**  
2(31)/2017

**Содержание**

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ИЗДЕЛИЯ** ..... 5

**Хархардин А.Н., Нелюбова В.В.,  
Попов А.Л., Строкова В.В.**  
ТОПОЛОГИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ МИКРО-  
И НАНОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
РАЗЛИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА .... 5

**Селяев В.П., Бондаренко В.М., Селяев П.В.**  
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕ-  
ТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ,  
РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ,  
ПО ПЕРВОЙ СТАДИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ  
СОСТОЯНИЙ ..... 13

**Максимова И.Н., Ерофеев В.Т.,  
Макридин Н.И., Егина Н.А.**  
О ПАРАМЕТРАХ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕ-  
НИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ПОЗИЦИЙ СТРУК-  
ТУРНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ  
МАТЕРИАЛОВ ..... 25

**Логанина В.И., Жегера К.В.**  
ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ ПЛИТОЧНОГО  
КЛЕЯ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ С ПРИМЕНЕ-  
НИЕМ В РЕЦЕПТУРЕ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ  
АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ..... 32

**Данилов А.М., Гарькина И.А.**  
ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ  
ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИТОВ ..... 37

**Данилов А.М., Гарькина И.А.**  
КОМПОЗИТЫ: ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ  
МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКА-  
ЦИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ..... 45

**Ликомаскина М.А., Алнаиф М.С.,  
Миронов А.А., Сальникова А.И.**  
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ  
ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОГО ХИМИКО-МИНЕ-  
РАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СВОЙСТВА  
АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ ..... 53

**СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ,  
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ** ..... 64

**Шенин А.И., Зернов В.В., Зайцев М.Б.**  
ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО И ЭКСПЛУА-  
ТАЦИОННОГО ОТКАЗОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ..... 64

© Авторы публикаций, 2017  
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2017  
© ПГУАС, 2017

|   |     |  |     |
|---|-----|--|-----|
| <b>Бакушев С.В.</b><br>ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА<br>ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ<br>ПРИ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОМ<br>ДЕФОРМИРОВАНИИ<br>СПЛОШНЫХ СРЕД.....  | 72  | <b>Усачев А.П., Шурайц А.Л., Салин Д.В.,<br/>Усеев З.М., Хомутов А.О.</b><br>РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ УСТРОЙ-<br>СТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БЫСТРОСЪЕМ-<br>НЫХ КРЫШЕК С НЕПРЕРЫВНЫМ<br>КОНТРОЛЕМ ИХ ГЕРМЕТИЧНОСТИ,<br>УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В ГАЗОВЫХ<br>ФИЛЬТРАХ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ<br>ПУНКТОВ ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ<br>СПОСОБНОСТИ ..... | 149 |
| <b>Вдовин В.М.</b><br>НАДЕЖНОСТЬ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ<br>РАМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ<br>ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ В УСЛОВИЯХ<br>ПОВЫШЕННОЙ АГРЕССИИ.....  | 81  | АРХИТЕКТУРА.....   | 155 |
| <b>Монахов В.А., Саакян Р.Ю., Урин В.В.</b><br>АЛГОРИТМ РАСЧЁТА РАМЫ<br>НА УСТОЙЧИВОСТЬ НА ОСНОВЕ<br>ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ<br>РАСЩЕПЛЁННОГО СТЕРЖНЯ.....  | 86  | <b>Соколова Н.В.</b><br>ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ<br>ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ.....   | 155 |
| <b>Вдовин В.М., Карпов В.Н.</b><br>КЛЕЕШПОНОЧНОЕ СОЕДИНЕНИЕ<br>ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ<br>С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛАДКИХ<br>КОЛЬЦЕВЫХ ШПОНОК<br>И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ .....                                     | 95  | <b>Димитренко Н.В.</b><br>РЕОРГАНИЗАЦИЯ ДАЧНЫХ МАССИВОВ<br>ПОД ЖИЛУЮ И ОБЩЕСТВЕННУЮ<br>ЗАСТРОЙКУ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕНЗЫ). 164  | 164 |
| <b>Исупов С.А.</b><br>СОЕДИНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ<br>КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ<br>НАГЕЛЬНЫХ КОННЕКТОРОВ .....   | 100 | <b>Хаметов Т.И., Ишамятова И.Х.</b><br>КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ<br>ТЕРРИТОРИЙ ЗАСТРОЙКИ ПЕНЗЕНСКОЙ<br>ОБЛАСТИ .....  | 174 |
| <b>Болдырева О.В.</b><br>МЕТОД ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ<br>ОБРАЗОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ<br>ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ<br>БАЛКИ .....   | 105 | <b>Кокшаров А.С., Высоцкая В.В.</b><br>АРХИТЕКТУРА СЕЛЬСКИХ ТОРГОВЫХ<br>ПЛОЩАДЕЙ ВЕРХНЕГО ПОВОЛЖЬЯ<br>ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX –<br>НАЧАЛА XX ВВ. ....  | 181 |
| <b>Клюка Е.Н., Чурсин А.И.</b><br>УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА<br>РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ<br>КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ<br>С КРУЧЕНИЕМ .....   | 110 | <b>Садырова М.Ю., Шалдыбин С.Г.</b><br>ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ<br>ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. 186  | 186 |
| <b>Гучкин И.С., Артюшин Д.В., Ласьков Н.Н.,<br/>Коновалов П.В.</b><br>ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН<br>В РОСТВЕРКЕ И ЦОКОЛЕ<br>МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА ...   | 115 | ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ .....   | 190 |
| <b>Депутатов М.А., Гарькин И.Н.,<br/>Медведева Л.М.</b><br>РЕАЛИЗАЦИЯ МОЛОДЕЖНОЙ<br>ПОЛИТИКИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ:<br>СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ .....   | 122 | <b>Резник С.Д., Холькина О.В.</b><br>УПРАВЛЕНИЕ ВНЕАУДИТОРНОЙ<br>РАБОТОЙ СТУДЕНТОВ: ОПЫТ<br>ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ<br>СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА.....   | 190 |
| <b>Снежкина О.В., Киселев А.А.</b><br>ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕ-<br>ТОННЫХ БАЛОК ПО ЭКСПЕРИМЕН-<br>ТАЛЬНЫМ ДАННЫМ.....  | 127 | <b>Усатенко А.Н.</b><br>ЗНАЧЕНИЕ АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ<br>ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ<br>ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br>ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО<br>ПРЕДПРИЯТИЯ .....  | 197 |
| ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ .....  | 132 | <b>Макарова Л.В., Тарасов Р.В.,<br/>Майоркина Т.Н.</b><br>РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ПОСТАВЩИКА<br>В РАМКАХ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ МЕ-<br>НЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕД-<br>ПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ<br>ИНДУСТРИИ.....  | 203 |
| <b>Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А.</b><br>НОВАЯ МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО<br>РАСЧЕТА ТРУБЧАТЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ<br>УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ<br>КВАДРАТИЧНОГО ЗАКОНА<br>СОПРОТИВЛЕНИЯ ..... | 132 | <b>Горбунова В.С., Гринцова О.В.</b><br>НОМИНАТИВНО-КОГНИТИВНЫЙ<br>ПОТЕНЦИАЛ СЛОВСОЧЕТАНИЙ<br>С АДЪЮНКТОМ CONCRETE,<br>ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СФЕРЕ<br>СТРОИТЕЛЬСТВА.....  | 209 |
| <b>Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Князев В.А.</b><br>ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ-<br>ОКИСЛИТЕЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ<br>ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД .....   | 141 | <b>Учаева Т.В.</b><br>ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ<br>УПРАВЛЕНИЯ БЮДЖЕТНЫМИ СРЕД-<br>СТВАМИ В РАМКАХ БЮДЖЕ-<br>ТИРОВАНИЯ, ОРИЕНТИРОВАННОГО<br>НА РЕЗУЛЬТАТ .....  | 214 |

# Contents

|  |    |  |     |
|--|----|--|-----|
| BUILDING MATERIALS<br>AND PRODUCTS.....  | 5  | <b>Bakushev S.V.</b><br>EVALUATION OF THE COEFFICIENT OF<br>TRANSVERSE DEFORMATION AT<br>SPHERICAL SYMMETRIC DEFORMATION<br>OF CONTINUOUS MEDIUM.....                                      | 72  |
| <b>Kharkhardin A.N., Nelubova V.V.,<br/>Popov A.L., Strokhova V.V.</b><br>TOPOLOGY OF GRINDED MICRO- AND<br>NANODISPERSE MATERIALS OF VARIOUS<br>MINERAL COMPOSITION .....   | 5  | <b>Vdovin V.M.</b><br>RELIABILITY GLUED WOODEN FRAMES,<br>OPERATES A LONG TIME IN CONDITIONS<br>OF INCREASED AGGRESSION .....  | 81  |
| <b>Selyaev V.P., Bondarenko V.M., Selyaev P.V.</b><br>FORECASTING THE SERVICE LIFE<br>(RESOURCE) OF REINFORCED CONCRETE<br>BENDING ELEMENTS WORKING IN<br>AGGRESSIVE ENVIRONMENT AT THE<br>FIRST STAGE OF LIMIT STATES .....       | 13 | <b>Monakhov V.A., Saakyan R.Y., Urin V.V.</b><br>ALGORITHM OF CALCULATION FRAME<br>BUCKLING RESISTANCE BASED ON<br>DISCRETE MODEL OF ROD SPLITE .....                                      | 86  |
| <b>Maksimova I.N., Erofeev V.T., Makridin N.I.,<br/>Egina N.A.</b><br>ON THE PARAMETERS OF MECHANICAL<br>BEHAVIOR OF ROCKS FROM THE POINT<br>OF STRUCTURAL MECHANICS<br>OF MATERIALS FRACTURE.....                                 | 25 | <b>Vdovin V.M., Karpov V.N.</b><br>GLUE SPLINE CONNECTION OF WOODEN<br>ELEMENTS WITH SMOOTH RING SPLINES<br>AND POLYMER COMPOSITIONS .....   | 95  |
| <b>Loganina V.I., Zhegera Ch.V.</b><br>EVALUATION OF FROST RESISTANCE<br>OF TILE ADHESIVE ON CEMENT WITH<br>THE USE OF COMPOUNDING ADDITIVE<br>BASED ON AMORPHOUS<br>ALUMINOSILICATES.....   | 32 | <b>Isupov S.A.</b><br>CONNECTIONS OF WOOD STRUCTURES<br>ON THE BASIS OF PIN CONNECTORS ....  | 100 |
| <b>Danilov A.M., Garkina I.A.</b><br>POLYNOMIAL MODELS IN SYNTHESIS<br>OF COMPOSITES.....  | 37 | <b>Boldyreva O.V.</b><br>METHOD OF DIGITAL PROCESSING<br>OF IMAGES IN DETERMINATION<br>OF DISPLACEMENTS OF A REINFORCED<br>CONCRETE BEAM.....  | 105 |
| <b>Danilov A.M., Garkina I.A.</b><br>COMPOSITES: GRAPHIC-ANALYTICAL<br>METHOD OF PARAMETRICAL<br>IDENTIFICATION OF KINETIC<br>PROCESSES.....   | 45 | <b>Klyuka E.N., Chursin A.I.</b><br>AN IMPROVED METHOD OF<br>CALCULATION REINFORCED CONCRETE<br>STRUCTURES UNDER BENDING AND<br>TORSION.....   | 110 |
| <b>Likomaskina M.A., Alnaif M.S.,<br/>Mironov A.A., Salnikova A.I.</b><br>RESEARCH OF THE EFFECT OF MINERAL<br>POWDERS WITH DIFFERENT CHEMICAL-<br>MINERALOGICAL COMPOSITIONS ON<br>ASPHALT CONCRETE MIXTURES'<br>PROPERTIES ..... | 54 | <b>Guchkin I.S., Artyushin D.V.,<br/>Laskov N.N., Konovalov P.V.</b><br>ANALYSIS OF CAUSES OF CRACK<br>FORMATION IN GRILLAGE AND<br>BASEMENT OF A MULTI-STORY<br>RESIDENTIAL BUILDING..... | 115 |
| BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS<br>AND CONSTRUCTIONS.....   | 64 | <b>Deputatov M.A., Garkin I.N.,<br/>Medvedeva L.M.</b><br>IMPLEMENTATION OF YOUTH POLICY IN<br>A CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY:<br>SOCIOLOGICAL ASPECT .....                                | 122 |
| <b>Shein A.I., Zernov V.V., Zaytsev M.B.</b><br>INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE<br>AND OPERATIONAL FAILURES ON<br>THE DURABILITY OF BUILDING<br>STRUCTURES .....   | 65 | <b>Snezhkina O.V., Kiselev A.A.</b><br>EVALUATION OF STRENGTH OF<br>REINFORCED CONCRETE BEAMS<br>FOR EXPERIMENTAL DATA.....  | 127 |
|  |    | ENGINEERING SYSTEMS.....   | 132 |
|  |    | <b>Andreev S.Y., Garkina I.A., Knyazev V.A.</b><br>NEW METHOD OF HYDRAULIC CALCU-<br>LATION OF TUBULAR MIXING DEVICES<br>WORKING IN THE FIELD OF THE SQUARE<br>RESISTANCE LAW .....        | 132 |

|  |  |
|--|--|
| <b>Andreev S.Y., Garkina I.A., Knyazev V.A.</b><br>USE OF OXIDIZING AGENTS IN<br>TECHNOLOGIES OF SEWAGE<br>TREATMENT ..... 141   | <b>Sadyrova M.Yu., Shaldybin S.G.</b><br>PROBLEMS OF LEGISLATIVE<br>REGULATION OF TOWN-PLANNING<br>ACTIVITY ..... 186  |
| <b>Usachev A.P., Shuraitis A.L., Salin D.V.,<br/>Usuev Z.M., Homutov A.O.</b><br>DEVELOPMENT AND USAGE OF QUICK<br>WITHDRAWABLE LIDS WITH UNCEASING<br>CHECKING OF THEIR HERMETICITIES<br>INSTALLED IN GAS FILTER OF GAS<br>ADJUSTING POINTS OF HIGH<br>RECEPTION CAPACITY ..... 149 | ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 190   |
| ARCHITECTURE.....155   | <b>Reznik S.D., Holkina O.V.</b><br>MANAGEMENT OF EXTRACURRICULAR<br>ACTIVITIES OF STUDENTS:<br>THE EXPERIENCE OF THE GRADUATING<br>DEPARTMENT OF A CIVIL<br>ENGINEERING UNIVERSITY ..... 190                      |
| <b>Sokolova N.V.</b><br>DEMOGRAPHIC POTENTIAL OF THE<br>PENZA REGION ..... 155   | <b>Usatenko A.N.</b><br>VALUE OF ANALYSIS OF KEY<br>INDICATORS TO IMPROVE FINANCIAL<br>PERFORMANCE OF CONSTRUCTION<br>COMPANIES ..... 197  |
| <b>Dimitrenko N.V.</b><br>REORGANIZATION OF SUMMER<br>COTTAGE AREAS INTO HOUSING AND<br>PUBLIC BUILDINGS ZONES<br>(ON THE EXAMPLE OF PENZA) ..... 164  | <b>Makarova L.V., Tarasov R.V.,<br/>Mayorkina T.N.</b><br>RATING ASSESSMENT OF THE SUPPLIER<br>WITHIN CREATION OF SYSTEMS OF<br>QUALITY MANAGEMENT AT THE<br>ENTERPRISES OF THE CONSTRUCTION<br>INDUSTRY ..... 203 |
| <b>Hametov T. I., Ishamyatova I. H.</b><br>COMPLEX DEVELOPMENT<br>OF TERRITORIES OF BUILDING<br>OF PENZA REGION ..... 174  | <b>Gorbunova V.S., Grintsova O.V.</b><br>NOMINATIVE-COGNITIVE POTENTIAL OF<br>THE WORD COMBINATIONS WITH THE<br>ADJUNCT CONCRETE, USED IN THE<br>SPHERE OF CONSTRUCTION ..... 209                                  |
| <b>Koksharov A.S., Vysotskaya V.V.</b><br>THE ARCHITECTURE OF RURAL TRADE<br>AREAS OF THE UPPER VOLGA REGION IN<br>THE SECOND HALF OF XIX –<br>EARLY XX CENTURIES ..... 181  | <b>Uchaeva T.V.</b><br>IMPROVING THE EFFICIENCY OF BUDGET<br>MANAGEMENT, IN THE FRAMEWORK OF<br>THE BUDGETING FOCUSED ON RESULT 214  |

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

## BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.327

*Белгородский государственный  
технологический университет  
им. В.Г. Шухова*

Россия, 308012, г. Белгород,  
ул. Костюкова, д. 46,  
тел./факс 8(4722) 30-99-91

**Хархардин Анатолий Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Материаловедение и технология  
материалов»

**Нелубова Виктория Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент,  
старший научный сотрудник НИИ  
«Наносистемы в строительном  
материаловедении»  
E-mail: nelubova@list.ru

**Попов Александр Леонидович**,  
магистрант кафедры материаловедения и  
технологии материалов

**Строкова Валерия Валерьевна**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, директор Инновацион-  
ного научно-образовательного и опытно-  
промышленного центра Наноструктури-  
рованных композиционных материалов

*Belgorod State Technological University  
named after V.G. Shoukhov*

Russia, 308012, Belgorod,  
46, Kostukovastreet St,  
tel./ fax. 8(4722) 30-99-91

**Kharkhardin Anatoly Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Materials science and  
technology»

**Nelubova Viktoria Viktorovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor,  
Senior research scientist of Research Institute  
«Nanosystems in Building Materials Science»  
E-mail: nelubova@list.ru

**Popov Alexander Leonidovich**,  
Master degree student of department Material  
Science and Technology

**Strokova Valeriya Valeryevna**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
RAACS, Director of the Innovation Scientific-  
Educational and Experimental-Industrial  
Center of Nanostructured Composite  
Materials

### ТОПОЛОГИЯ ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ МИКРО- И НАНОДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ РАЗЛИЧНОГО МИНЕРАЛЬНОГО СОСТАВА\*

А.Н. Хархардин, В.В. Нелубова, А.Л. Попов, В.В. Строкова

Показаны топологические свойства кремнеземсодержащих компонентов в зависимости от степени механоактивации, дисперсности и минерального состава. Представлена методика расчета среднего расстояния между частицами в дисперсном слое при разъединении их в результате изменения формы и действия сил электростатического отталкивания при измельчении.

*Ключевые слова: дисперсные системы, фактор формы, взаимодействие частиц*

\* Работа выполнена в рамках реализации Программы стратегического развития БГТУ им. В.Г. Шухова.

## TOPOLOGY OF GRINDED MICRO- AND NANODISPERSE MATERIALS OF VARIOUS MINERAL COMPOSITION

A.N. Kharkhardin, V.V. Nelubova, A.L. Popov, V.V. Strokov

Topological properties of silica-containing components depending on the degree of mechanical activation, dispersion and mineral composition are shown. A methodology for calculating the average distance between the particles in a dispersed layer during their separation as a result of changes in shape and the effect of electrostatic repulsion forces during grinding is given.

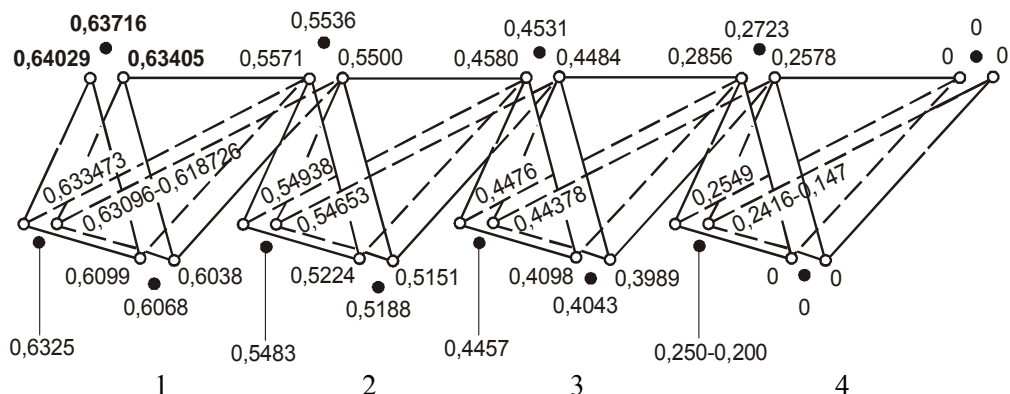
*Keywords: dispersed systems, shape factor, particles interaction*

Современные технологии производства строительных материалов напрямую связаны с диспергированием исходных компонентов. Многочисленными исследованиями обосновано, что в таких процессах наряду с измельчением реализуется механическая активация сырья, что обеспечивает наиболее полное его взаимодействие с компонентами вяжущего при твердении [1–3]. При этом изучение фазово-размерной неоднородности кремнеземсодержащего сырья, формируемой вследствие механоактивации, позволяет прогнозировать его активность в составе композиционных материалов, в том числе вяжущих, и создает предпосылки для рационального подбора составов композитов с позиций энергоэффективности, обусловленной снижением затрат на помол, а также конечной стоимости материалов [4–9].

В связи с обозначенным целью настоящей работы является изучение топологических характеристик механоактивированного кремнеземсодержащего сырья различных степени дисперсности и состава. В качестве основы приняты положения структурной топологии дисперсных систем [10]. Для исследования приняты модельные системы: в качестве микродисперсных – кварцевый песок Корочанского месторождения (Белгородская область) и полевошпатовый песок поймы реки Лена (Республика Саха); в качестве нано- и микродисперсных – наноструктурированное вяжущее на основе кварцевого песка Корочанского месторождения (Белгородская область) и гранита Полтавского месторождения (Воронежская область), в составе которых в зависимости от состава и технологии получения формируется 10–20 % частиц нанодисперсного уровня.

Покажем изменение среднего расстояния между частицами монодисперсного зернистого материала на примере кварцевого песка при измельчении до размера микро- и наночастиц с использованием схемы уровней топологических переходов дискретных систем (см. рисунок). Плотность упаковки частиц кварцевого песка округлой формы  $\eta_1 = 0,63716$ , при одношаговом топологическом переходе (ФТП) согласно уравнению (1) получим:  $\eta = 0,5536$ .

$$\eta = \eta_1 \left[ 1 - \frac{1}{3 \ln(120,754 \eta_1^5)} \right]$$



Стандартная схема основных уровней ФТС неупорядоченных конденсированных дискретных систем в различных состояниях:

1, 2 – псевдотвердом; 3 – псевдожидком; 4 – критическом состоянии дисперсного слоя

Величина  $\eta = 0,640289$  на рисунке соответствует плотности упаковки сферических частиц в сферических бутылках, а величина  $\eta_1 = 0,634053$  определяет плотность упаковки частиц округлой и эллипсоидальной формы. Величины плотности упаковки  $\eta_1 = 0,6325$  и  $\eta_1 = 0,6068$  соответствуют 1/3 и 2/3 шага ФТП и связаны в основном с изменением формы частиц, а величина  $\eta_1 = 0,5535$  – с силами электростатического отталкивания частиц с размером менее 0,14 мм.

Определим фактор формы  $\psi$  зерен заполнителя из равенства выражений для коэффициента разъединения частиц  $\alpha^3$  и толщину минеральной или полимерной оболочки на их поверхности  $\delta$  в бетонах или полимербетонах:

$$\alpha^3 = \eta/\eta_1 = (1+2\delta/\psi d)^3, \quad (1)$$

$$2\delta = [(\eta_1/\eta)^{1/3} - 1] \psi d, \quad (2)$$

где  $\delta$  – половина среднего расстояния между частицами в зернистом (дисперсном) слое с размером  $d$ ,  $\psi$  – фактор их формы,  $\psi \geq 1$ ; коэффициент формы частиц  $\Phi = 1/\psi$ .

$$\alpha^3 = \eta/\eta_1 = 0,64029/0,63405 = 1,010;$$

$$\alpha^3 = \eta/\eta_1 = 0,64029/0,6325 = 1,012;$$

$$\alpha^3 = \eta/\eta_1 = 0,64029/0,6038 = 1,060;$$

$$\alpha^3 = \eta/\eta_1 = 0,64029/0,58 = 1,068/$$

Так как фактор формы  $\psi$  определяется отношением площади поверхности невзаимодействующих частиц  $S$  неправильной формы к площади поверхности  $S_1$  сферических частиц равновеликого объема, а при измельчении материала одинаковой массы, то

$$\psi = S/S_1 = \pi d^2 / [\pi d_1^2 (\gamma/\gamma_1)^{2/3}] = (\gamma_1/\rho)/(\gamma/\rho) = (\eta_1/\eta)^{2/3}, \quad (3)$$

где из равенства массы до измельчения материала и после имеем:  $\pi d_1^3 \gamma_1 / 6 = \pi d^3 \gamma / 6$ ; отсюда

$$d_1 = d(\gamma/\gamma_1)^{1/3}, \text{ а } S_1 = \pi d^2 (\gamma/\gamma_1)^{2/3}.$$

Тогда фактор формы зерен заполнителя из выражения (2) будет равен:

$$\psi = [0,64029/(0,63405 \dots 0,6038 \dots 0,58)]^{2/3} = 1,007 \dots 1,040 \dots 1,068.$$

Минимальная удвоенная толщина минеральной либо полимерной оболочки (в бетоне либо в полимербетоне) при слабом электростатическом взаимодействии зерен заполнителя будет равна:

$$2\delta = [(\eta/\eta_1)^{1/3} - 1] \psi d = [(1,010 \dots 1,060 \dots 1,104)^{1/3} - 1](1,003 \dots 1,040 \dots 1,068) d =$$

$$= (0,003 \dots 0,0206 \dots 0,0358) \cdot (40 \dots 20 \dots 10) \text{ мм} = 0,130 \dots 0,412 \dots 0,358 \text{ мм}.$$

$$2\delta = (0,003 \dots 0,0206 \dots 0,0358) \cdot 40 \text{ мм} = 0,130 \dots 0,824 \dots 1,432 \text{ мм}.$$

$$2\delta = (0,003 \dots 0,0206 \dots 0,0358) \cdot 20 \text{ мм} = 0,065 \dots 0,411 \dots 0,716 \text{ мм}.$$

$$2\delta = (0,003 \dots 0,0206 \dots 0,0358) \cdot 10 \text{ мм} = 0,033 \dots 0,206 \dots 0,358 \text{ мм}.$$

Из результатов расчета следует, что разъединение зерен заполнителя либо толщина минеральной оболочки на их поверхности в композиционных материалах повышаются с увеличением среднего размера зерен и с уменьшением плотности их упаковки. Смачивание зернистого слоя заполнителя не приводит к его уплотнению. Отношение  $d/2\delta$  для данных размеров зерен превышает критериальное значение  $d/2\delta \leq 20$ . При развитии тангенциальных напряжений в оболочках на зернах заполнителя при

затвердевании усадочных цементов и  $d/2\delta \geq 20$  могут возникать очаги трещинообразования. Для снятия этих напряжений в усадочных бетонах используют наполнитель и смесь зерен различных фракций.

Для снятия реверса (смены отслоения оболочки на обжатие частиц) собственных деформаций цементного камня в оболочках на зернах мелкого заполнителя в бетоне необходимо выполнение условия:  $d/\delta \leq 1,1$  и  $d/2\delta \geq 7,85 - 8,84$  – точки реверса деформаций на начало обжатия частиц оболочкой.

Величина 2 в числителе показателя степени формулы (3) соответствует значению кулоновского взаимодействия частиц. С учетом взаимодействия частиц посредством сил отталкивания и притяжения фактор их формы в дисперсном слое будет определяться степенью деформирования электростатической оболочки за счет острых углов скола. В точках контакта углов скола частиц действуют силы притяжения, которые приводят к образованию рыхлых структур в дисперсном слое, поэтому плотность упаковки в нем микрочастиц понижается (см. таблицу). Последующее измельчение сухим способом приводит к агрегированию микрочастиц размером менее 3...1 мкм с плотностью их упаковки в рыхлом дисперсном слое  $\eta_{cl} = 0,265...0,245$ , где среднее значение  $\eta_{cl} = 0,255$ .

Измельчение материалов (кварцевого и речного песка) производилось сухим механическим способом в планетарной мельнице в течение 5 часов. Измельчение компонентов для получения наноструктурированного вяжущего осуществлялось длительным помолом исходного сырья в водной среде с контролем температуры и pH-среды. Плотность упаковки микрочастиц в объеме крупных (2...3 мм) агрегаций достигала величины  $\eta = 0,906$ , а в поверхностных слоях она соответствовала наиплотнейшей укладке шаров на плоскости  $\eta = \pi/2\sqrt{3} = 0,9069$ . Источником и носителем зарядов кулоновского взаимодействия частиц является их поверхность и радиус ее кривизны. После сушки измельченных материалов при температуре 150 °С плотность упаковки их частиц возрастала до расчетной величины  $\eta \leq 0,818$ .

Характеристика механоактивированного кремнезёмсодержащего сырья

| Длительность<br>измельчения t, мин | Удельная поверхность,<br>м <sup>2</sup> /кг | Кварцевый песок |                      |       | + H <sub>2</sub> O |                      |       | Полевкошпатовый песок |                      |       | + H <sub>2</sub> O |                      |       |
|------------------------------------|---|-----------------|----------------------|-------|--------------------|----------------------|-------|-----------------------|----------------------|-------|--------------------|----------------------|-------|
|                                    |   | m, г            | γ, г/см <sup>3</sup> | η     | m, г               | γ, г/см <sup>3</sup> | η     | m, г                  | γ, г/см <sup>3</sup> | η     | m, г               | γ, г/см <sup>3</sup> | η     |
| 0                                  | -   | 160,92          | 1,609                | 0,610 | 165,16             | 1,652                | 0,626 | 159,26                | 1,593                | 0,610 | 166,75             | 1,668                | 0,639 |
| 60                                 | 300–320                                     | 112,30          | 1,123                | 0,425 | 140,40             | 1,404                | 0,532 | 99,40                 | 0,994                | 0,381 | 140,18             | 1,402                | 0,537 |
| 120                                | 430–450                                     | 91,93           | 0,919                | 0,348 | 131,05             | 1,298                | 0,491 | 81,85                 | 0,819                | 0,314 | 130,68             | 1,307                | 0,501 |
| 180                                | 520–550                                     | 79,37           | 0,794                | 0,301 | 124,93             | 1,249                | 0,473 | 74,42                 | 0,744                | 0,285 | 122,31             | 1,223                | 0,469 |
| 240                                | 800–830                                     | 69,99           | 0,700                | 0,265 | 114,73             | 1,147                | 0,435 | 70,90                 | 0,709                | 0,272 | 122,01             | 1,220                | 0,467 |
| 300                                | 930–950                                     | 67,78           | 0,678                | 0,257 | 116,11             | 1,161                | 0,439 | 70,41                 | 0,704                | 0,270 | 121,21             | 1,212                | 0,466 |
| НВ                                 | 1500–1700                                   | 64,21           | 0,642                | 0,243 | 102,30             | 1,023                | 0,387 | 62,30                 | 0,623                | 0,239 | 99,61              | 0,996                | 0,383 |

Согласно полученным данным (см. таблицу), средняя плотность упаковки микро- и наночастиц при сухом механическом способе измельчения достигает расчетной величины, получаемой из уравнения (4) при  $p = 3$ ,  $m = 3$  и  $n = 1$ , либо при  $n = 2$  и  $d_2 = d_1$  в момент экспозиции:

$$d_2 / d_1 = \left[ 1 / 10\eta_1 (\sqrt{3} - 1)^p \right]^{m(n-1)/3}; \tag{4}$$



$$\eta_1 \leq 1/10(\sqrt{3}-1)^3 \leq 0,2549.$$

где  $d_1, d_2, \eta_1$  – средний размер монодисперсной фракции наиболее крупных частиц дисперсных материалов до измельчения и после и плотность их упаковки соответственно;  $p = 0; 1; 2; 3 \dots; p = 3$  и  $m \geq 3$  – для произвольной упаковки частиц.

Коэффициент разъединения микрочастиц с размером 60...40 мкм и с плотностью их упаковки в дисперсном слое  $\eta_1 = 0,548 \dots 0,540$  измельченного кварцевого песка будет равен:

$$\alpha^3 = \eta_1/\eta = 0,63716/(0,548 \dots 0,540) = 1,16 \dots 1,18.$$

$$2\delta = [(\eta_1/\eta)^{1/3} - 1] \psi d = [(1,16 \dots 1,18)^{1/3} - 1] (1,16 \dots 1,18)^{2/3} (40 \dots 10) \text{ мкм} = 3,4 \dots 2,4 \text{ мкм}.$$

Вычислим коэффициент разъединения микрочастиц при измельчении узкой фракции кварцевого песка с размером частиц 0,14–0,1 мм с плотностью упаковки  $\eta = 0,6038$  его частиц в уплотненном дисперсном слое, смоченного водой, где насыпная плотность его будет равна:  $\gamma = \eta_1 \cdot \rho = 0,6038 \cdot 2640 \text{ кг/м}^3 = 1594 \text{ кг/м}^3$ ,  $\rho$  – истинная плотность кварцевого песка. Тонкодисперсные фракции выделяли из суспензий методом седиментации.

Из выражения (2) для измельченного кварцевого песка до размера микрочастиц 60...40 мкм при блокировании зарядов на поверхности микрочастиц смачиванием водой дисперсного слоя, где  $\eta_1 = 0,58 \dots 0,56$ , получим:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} d \psi = \{[0,6038/(0,58 \dots 0,56)]^{1/3} - 1\} \cdot (1,03 \dots 1,05) (60 \dots 40) \text{ мкм} = 0,83 \dots 1,07 \text{ мкм}.$$

По сравнению с плотностью упаковки сферических частиц ( $\eta_1 = 0,64976$ ) узких измельчаемой и измельченной фракций разъединение их в дисперсном слое составит:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} \Psi d = \{[0,64976/(0,58 \dots 0,56)]^{1/3} - 1\} \cdot (1,08 \dots 1,1) (60 \dots 40) \text{ мкм} = 2,56 \dots 2,24 \text{ мкм}.$$

Фактическое разъединение микрочастиц в дисперсном слое составит:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} \Psi d = \{[0,64029/(0,58 \dots 0,56)]^{1/3} - 1\} \cdot [0,6038/(0,58 \dots 0,56)]^{2/3} (60 \dots 40) \text{ мкм} = 2 \dots 1,4 \text{ мкм}.$$

Механическое разрушение образуемых агрегаций и блокирование зарядов на поверхности микрочастиц смачиванием водой дает  $\eta_1 = 0,50 \dots 0,45$  и характеризует его физическое состояние на границе псевдожидкого – псевдотвердого состояния.

Разъединение микрочастиц по сравнению с исходным значением  $\eta = 0,6038$  составляет:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} \Psi d = [0,6038/(0,50 \dots 0,45) - 1]^{1/3} (1,134 \dots 1,216) \cdot (3 \dots 1) \text{ мкм} = 0,22 \dots 0,12 \text{ мкм}.$$

По сравнению с потенциально возможной плотностью упаковки шаровых не взаимодействующих частиц фактическое их разъединение составляет:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} \Psi d = [(0,64029 / (0,50 \dots 0,45) - 1)^{1/3} \cdot (1,19 \dots 1,27)] (3 \dots 1) \text{ мкм} = 0,30 \dots 0,16 \text{ мкм}.$$

Таким образом, при блокировании зарядов на поверхности микрочастиц смачиванием водой сухого дисперсного слоя плотность их упаковки возрастает на один шаг

фазотопологического перехода на одном и том же подуровне схемы ФТП. Например, по средним значениям  $\eta_1$  :

на основном подуровне – 0,63716 ← 0,5536 ← 0,4531 ← 0,2723;  
 на среднем (критическом) подуровне – 0,6325 ← 0,5483 ← 0,4457 ← 0,250;  
 на подуровне свободного состояния дисперсного слоя – 0,6068 ← 0,5188 ← 0,4043 ← 0.

Длительное измельчение кварцевого песка сухим способом в шаровой мельнице приводит к росту агрегаций, сил притяжения и отталкивания между микрочастицами и значению  $\eta_{cl} = 0,2226...0,1866$ . Плотность произвольной и систематической упаковки микрочастиц в агрегациях при этом составляет соответственно:

$$\eta = (0,2226...0,1866)^{1/3} = 0,6066...0,5714 \text{ и } \eta = (0,2226...0,1866)^{0,2} = 0,740...0,714.$$

При механическом разрушении агрегаций плотность произвольной упаковки микрочастиц в дисперсном слое (в объеме сосуда) при действии сил отталкивания между ними будет равна:

– в свободном насыпном слое

$$(0,6066...0,5714) \cdot 0,5483 = 0,3326...0,3130 \text{ и } \eta_1 = (0,7404...0,7144) \cdot 0,5188 = 0,3841...0,3708;$$

– в уплотненном утряской слое

$$\eta_1 = (0,6066...0,5714) \cdot 0,6038 = 0,366...0,345 \text{ и } \eta_1 = (0,740...0,714) \cdot 0,5483 = 0,406...0,392.$$

Полученные значения  $\eta_1 = 0,313...0,406$  характеризуют псевдожидкое физическое состояние дисперсного слоя (см. рисунок), который обладает свойством жидкости вытекать из вертикальных и горизонтальных отверстий в сосуде при приложении нагрузки на слой. Смачивание водой в условиях насыщенного пара приводит к блокированию зарядов на поверхности микрочастиц и уплотнению слоя до значений  $\eta_1 = 0,45...0,41$ .

Разъединение микрочастиц по сравнению с исходным значением  $\eta = 0,6038$  составляет:

$$2\delta = (\alpha^3 - 1)^{1/3} d \psi = [(0,6038/0,45...0,41)^{1/3} - 1](1,22...1,29) \cdot (1...0,5) \text{ мкм} = 125...83 \text{ нм}.$$

При мокром способе измельчения кварцевого песка плотность упаковки микро- и наночастиц уменьшается до значения  $\eta_{c2} \leq 0,1$ . Это значение вытекает из закономерности (3) распределения частиц при плотной их упаковке в смеси. Из выражения (3) для произвольной упаковки частиц ( $m=3$ ) при  $p=0$  и  $d_n/d_1=1$  получим  $\eta_{c2} \leq 0,1$ . При этом происходит разрушение структуры поверхности микрочастиц с образованием геля. Для золь-фракций при  $p=1$  и  $p=2$  из выражения (3) имеем  $\eta_{c2} \leq 0,1366$  и  $\eta_{c2} \leq 0,1866$ . Разъединение наночастиц в силикатном золе по сравнению с первой критической плотность их упаковки составляет

$$2\delta = [(0,2549/0,1)^{1/3} - 1] (0,2549/0,1)^{2/3} d = 0,366 \cdot 1,866(0,5...0,1) \text{ мкм} = 341...68 \text{ нм}.$$

Будем произвольно изменять величину  $2\delta/d$ , чтобы найти последующие значения  $\eta_c$ .

Для  $2\delta/d = [(\eta_c/0,1)^{1/3} - 1] \psi = 0,1866$  при  $\psi=1$  получим  $\eta_c = 0,167$ , тогда:

$$2\delta = [(0,167/0,1)^{1/3} - 1] (0,5...0,1) \text{ мкм} = 187...18 \text{ нм}.$$

$$2\delta = [(0,167/0,1)^{1/3} - 1] (0,167/0,1)^{2/3} (0,5...0,1) \text{ мкм} = 131...26,2 \text{ нм}.$$

Для  $2\delta/d = [(\eta_c/0,1)^{1/3} - 1]\psi = 0,1366$  при  $\psi = 1$  получим  $\eta_c = 0,147$ , тогда:

$$2\delta = [(0,147/0,1)^{1/3} - 1] (0,3...0,1) \text{ мкм} = 42...14 \text{ нм.}$$

$$2\delta = [(0,147/0,1)^{1/3} - 1] (0,147/0,1)^{2/3} (0,3...0,1) \text{ мкм} = 53...17,6 \text{ нм.}$$

Плотность упаковки микрочастиц при блокировании зарядов на их поверхности смачиванием 0,5 % раствором пластификатора (С-3) возрастает. Так, уплотнение сухого дисперсного слоя, имеющего  $\eta_{cl} = 0,255$ , смачиванием раствором пластификатора, возрастает до  $\eta_i = 0,545$ , при этом имеем:

$$2\delta = [(0,545/0,255)^{1/3} - 1] \cdot (0,545/0,255)^{2/3} (5...1) \text{ мкм} = 2,38...0,48 \text{ мкм.}$$

$$2\delta = [(0,64029/0,255)^{1/3} - 1] \cdot (0,545/0,255)^{2/3} (5...1) \text{ мкм} = 3,0...0,60 \text{ мкм.}$$

Из этого результата следует, что среднее расстояние между микрочастицами возрастает в результате увеличения общего размера микрочастиц вместе с адсорбированной на их поверхности органической или минеральной оболочкой толщиной  $\delta = 1,19...24$  мкм, которая не полностью блокирует электрические заряды на их поверхности. При использовании 0,8 % и 1 % растворов пластификатора плотность упаковки микрочастиц возрастет до 0,58 и 0,60, при этом имеем:

$$2\delta = [(0,58/0,255)^{1/3} - 1] \cdot (0,58/0,255)^{2/3} (5...1) \text{ мкм} = 2,74...0,55 \text{ мкм.}$$

$$2\delta = [(0,60/0,255)^{1/3} - 1] \cdot (0,60/0,255)^{2/3} (5...1) \text{ мкм} = 2,92...0,58 \text{ мкм.}$$

Следовательно, при смачивании поверхности микрочастиц пластификатором почти полностью блокируются заряды на их поверхности.

Разъединение  $n$  наночастиц, где  $n \rightarrow \infty$ , в силикатном золе при измельчении кварцевого песка и  $\psi = 1$  будет равно:

$$2\delta = [(0,64029/0,1)^{1/3} - 1] \cdot (30...20) \text{ нм} = 26...17 \text{ мкм.}$$

$$2\delta = [(0,64976/0,05)^{1/3} - 1] \cdot (20...10) \text{ нм} = 27...13 \text{ нм.}$$

$$2\delta \rightarrow [(\eta_i^{1/n \rightarrow 0} / \eta_{cl}^{n \rightarrow \infty})^{1/3} - 1] \cdot d^{1/n \rightarrow 0} \rightarrow \infty.$$

Таким образом, при измельчении зернистого материала количество микрочастиц в дисперсном слое возрастает, а среднее расстояние между ними сокращается. С уменьшением плотности упаковки микрочастиц в дисперсном слое фактор их формы уменьшается и стремится к единице – к сферической форме частиц, а плотность их упаковки при полном блокировании зарядов на их поверхности стремится к наибольшей произвольной упаковке шаров 0,64029. Плотность упаковки наночастиц в малых агрегациях менее  $0,545/0,7405 < 0,736$ , в больших агрегациях она не более 0,64976, а в поверхностных слоях агрегаций достигает величины 0,9069. Электростатические силы отталкивания проявляются в дисперсном слое кварцевого песка с размером частиц менее 0,5 мкм. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации составов строительных растворов, мастик и других материалов с высокой адгезией, а также для определения степени блокирования зарядов на поверхности частиц наполнителя с целью снижения перенапряжений в строительных композитах.

### Список литературы

1. Жерновский, И.В. Структурные преобразования кварцевого сырья при механоактивации / И.В. Жерновский, В.В. Строкова, А.И. Бондаренко, Н.И. Кожухова, К.Г. Соболев // Строительные материалы. – 2012. – №10. – С. 56–58.
2. Ядыкина, В.В. Влияние природы материалов и режимов измельчения на свойства асфальтобетона / В.В. Ядыкина, А.И. Траутвайн, А.М. Гридчин // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4 (70). – С. 26–29.
3. Траутвайн, А.И. Исследование влияния режимов измельчения и реакционную способность минеральных порошков / А.И. Траутвайн, В.В. Ядыкина // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2013. – № 61–62. – С. 248–254.
4. Агеева, М.С. К вопросу использования промышленных отходов в производстве вяжущих веществ / М.С. Агеева, С.М. Шаповалов, А.Н. Боцман, А.В. Ищенко // Ве-

стник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2016. – № 9. – С. 58–62.

5. Жерновский, И.В. К проблеме фазово-размерной гетерогенности сырья как фактора управления структурообразованием композитов / И.В. Жерновский, В.В. Строкова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31-2 (50). – С. 112–118.

6. Череватова, А.В. Оценка фазовой и размерной гетерогенности кварцевой составляющей исходного сырья и ВКВС / А.В. Череватова, И.В. Жерновский, В.В. Нелубова // Новые огнеупоры. – 2010. – № 8. – С. 53–62.

7. Строкова, В.В. О влиянии размерных параметров полиморфных кварца на его активность в композиционных вяжущих / В.В. Строкова, И.В. Жерновский, Ю.В. Фоменко // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2007. – №3. – С. 72–73.

8. Алфимова, Н.И. Оптимизация параметров изготовления композиционных вяжущих на основе вулканического сырья / Н.И. Алфимова, Н.А. Никифорова // Региональная архитектура. – 2016. – №4. – С. 33–39.

9. Логанина, В.И. Известковое композиционное вяжущее с применением добавки на основе алюмосиликатного наполнителя / В.И. Логанина, С.Н. Кислицина, М.В. Фролов // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2015. – № 6. – С. 70–73.

10. Хархардин, А.Н. Топологические свойства материалов и других дискретных систем / А.Н. Хархардин, В.В. Нелубова, В.В. Строкова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2015. – № 10 (682). – С. 100–109.

## References

1. Zhernovsky, I.V. Structural transformations of quartz raw material during mechanical activation / I.V. Zhernovsky, V.V. Strokov, A.I. Bondarenko, N.I. Kozhukhova, K.G. Sobolev // Building Materials. – 2012. – №10. – P. 56–58.

2. Yadikina, V.V. Influence of the nature of materials and milling regimes on the properties of asphalt concrete / V.V. Yadikina, A.I. Trautwein, A.M. Gridchin // Science and technology in the road industry. – 2014. – № 4 (70). – P. 26–29.

3. Trautvain, A.I. Investigation of the effect of grinding regimes and reactivity of mineral powders / A.I. Trautvain, V.V. Yadikina // Bulletin of Kharkov National Automobile and Highway University. – 2013. – № 61–62. – P. 248–254.

4. Ageeva, M.S. On the use of industrial wastes in the production of binders / M.S. Ageeva, S.M. Shapovalov, A.N. Botsman, A.V. Ischenko // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V.G. Shoukhov. – 2016. – № 9. – P. 58–62.

5. Zhernovsky I.V. To the problem of phase-dimensional heterogeneity of raw materials as a control factor for the structure formation of composites / I.V. Zhernovsky, V.V. Strokov // Bulletin of the Volgograd State Architectural and Construction University. Series: Construction and architecture. – 2013. – № 31–2 (50). – P. 112–118.

6. Cherevatova, A.V. Estimation of phase and dimensional heterogeneity of the quartz component of the raw materials and HCBS / A.V. Cherevatova, I.V. Zhernovsky, V.V. Nelubova // New refractories. – 2010. – № 8. – P. 53–62.

7. Strokov, V.V. On the influence of the dimensional parameters of polymorphic quartz on its activity in composite binders / V.V. Strokov, I.V. Zhernovsky, Yu.V. Fomenko // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhov. – 2007. – № 3. – P. 72–73.

8. Alfimova, N.I. Optimization of production parameters of composite binders on the basis of volcanic raw materials / N.I. Alfimova, N.A. Nikiforova // Regional architecture. – 2016. – № 4. – P. 33–39.

9. Loganina, V.I. Lime composite binder with the use of an additive based on aluminosilicate filler / V.I. Loganina, S.N. Kislitsina, M.V. Frolov // Bulletin of the Belgorod State Technological University named after. V.G. Shukhova. – 2015. – № 6. – P. 70–73.

10. Kharhardin, A.N. Topological properties of materials and other discrete systems / A.N. Kharhardin, V.V. Nelubova, V.V. Strokov // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 2015. – № 10 (682). – P. 100–109.

УДК 624.072.2.012.45

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

Россия, 430000, г. Саранск,  
ул. Большевистская, д. 68,  
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

**Селяев Владимир Павлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Строительные  
конструкции», академик РААСН  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Бондаренко Виталий Михайлович,**  
доктор технических наук, профессор,  
академик РААСН

**Селяев Павел Владимирович,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: ntorm80@mail.ru

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

Russia, 430000, Saransk, 68,  
Bolshevistskaya St.,  
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

**Seljaev Vladimir Pavlovich,**  
Doctor of Science, Professor, Head  
of the department «Building structures »,  
academician of the Russian Academy of  
Architecture and Construction Sciences  
E-mail: ntorm80@mail.ru

**Bondarenko Vitaly Mikhailovich,**  
Doctor of Science, Professor, academician of  
the Russian Academy of Architecture and  
Construction Sciences

**Seljaev Pavel Vladimirovich,**  
Candidat of Science, Associate Professor  
of the department «Building structures  
E-mail: ntorm80@mail.ru

## ПРОГНОЗИРОВАНИЕ РЕСУРСА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ, ПО ПЕРВОЙ СТАДИИ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ

В.П. Селяев, В.М. Бондаренко, П.В. Селяев

Разработаны на основе фундаментальных законов механики, физической химии, метода предельных состояний расчетные модели и методы, позволяющие оценивать и прогнозировать ресурс железобетонных изгибаемых элементов, работающих в условиях агрессивных сред.

Полученные условия прочности нормальных и наклонных сечений дают возможность рассчитать долговечность, оценить остаточный ресурс железобетонного изгибаемого элемента, работающего в условиях действия агрессивных сред. При этом максимально использованы наработки по расчету железобетонных конструкций методом предельных состояний; фундаментальные законы кинетики процессов взаимодействия твердого тела с агрессивной средой.

*Ключевые слова: долговечность, ресурс, агрессивная среда, кинетика, предельные состояния*

## FORECASTING THE SERVICE LIFE (RESOURCE) OF REINFORCED CONCRETE BENDING ELEMENTS WORKING IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT AT THE FIRST STAGE OF LIMIT STATES

V.P. Selyaev, V.M. Bondarenko, P.V. Selyaev

The purpose of this article is to develop (on the basis of the fundamental laws of mechanics, physical chemistry), a method of limit states of computational models and methods to assess and predict the life of reinforced concrete bent elements operating in aggressive environments.

These conditions of normal and oblique sections strength make possible to calculate the durability, evaluate the remaining service life of reinforced concrete bent elements working in conditions of hostile environment.

*Keywords: durability, service life, aggressive media, kinetics, limit states*

**Введение**

Ресурс – продолжительность или объем работы, выполненной объектом от определенного момента времени до наступления предельного состояния.

Под объектом понимается предмет, изделие, конструкция определенного целевого назначения, исходя из которого формируются требования по эксплуатации и к предельным состояниям. Один и тот же материал может применяться для изготовления различных изделий и, следовательно, соответствовать различным требованиям эксплуатации. Попытки решать проблему оценки и прогнозирования ресурса изделия, опираясь на результаты анализа химических процессов, происходящих в материале при эксплуатации изделия в агрессивных средах, приводят к многофакторной неопределенности. Под действием агрессивной среды развивается процесс деградации, в результате которого изменяются цвет, средняя плотность, структура, прочность, химический и элементный состав материала; накапливаются одни вещества, вымываются другие. Знание кинетики процесса деградации дает возможность сформулировать требования к предельным состояниям, предшествующим отказу объекта.

Оценка, прогнозирование ресурса железобетонных конструкций – задача актуальная, и возможные подходы к ее решению на основе силового метода предельных состояний изложены в работах В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко, Р.Б. Гарибова, В.И. Колчунова, Н.И. Карпенко, С.В. Александровского, Ш.М. Рахимбаева, В.П. Селяева, А.М. Пухонто, Е.А. Гузеева [1–5].

В работах В.П. Селяева, В.Н. Уткиной, Л.М. Ошкиной, Т.А. Низиной, Л.И. Куприяшкиной [4, 5, 7, 8] впервые экспериментально были установлены: закономерности изменения механических свойства материала по высоте поперечного сечения изделия под действием агрессивных сред; особенности кинетики процессов разрушения контактных (внешних) поверхностей изделия; основные параметры, лимитирующие процесс деградации материала в изделии, и методы их определения; топологические и фрактальные модели деградации поперечного сечения изделий [5–10].

В работах [11–15] рассмотрены возможные методы прогнозирования сопротивления бетонов агрессивным средам. Результаты этих исследований не учитывают возможность применения метода расчета по предельным состояниям для оценки и прогнозирования ресурса железобетонных конструкций при действии силовых и агрессивных факторов.

Усилия авторов были направлены на разработку на основе фундаментальных законов механики, физической химии, метода предельных состояний расчетных моделей и методов, позволяющих оценивать и прогнозировать ресурс железобетонных изгибаемых элементов, работающих в условиях агрессивных сред.

**1. Модель деградации изделия.**

**Статическая силовая модель** формируется на основе фундаментальных законов деформируемого твердого тела, определяющих соотношение между: внутренними и внешними силами; деформациями и перемещениями; напряжениями и деформациями.

Так как расчет изгибаемых элементов по первой группе предельных состояний заключается в проверке прочности нормальных и наклонных сечений, то расчетная модель математически представлена системой, состоящей из статических (1), (2), геометрических (3) и физических (4) уравнений:

$$M((q, p, l, k, \gamma_i) \leq M_{ult}(R_b, R_s, b, h, E_b, A_s, \gamma_i, \gamma_k), \quad (1)$$

$$Q((q, p, l, k, \gamma_i) \leq Q_{ult}(R_{bt}, R_s, R_{sw}, b, h, E_b, A_s, A_{sw}, \gamma_i, \gamma_k), \quad (2)$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon}{y}; \varepsilon = \varepsilon_e + \varepsilon_p + \varepsilon_{ep}, \quad (3)$$

$$\sigma(t) = \varepsilon(t, t_0) E_{np}(\eta, t, t_0) \text{ или } \sigma = E_b \varepsilon(\sigma_{bu}, \varepsilon_{bu}), \quad (4)$$

где  $\varepsilon_e, \varepsilon_p, \varepsilon_{ep}$  – относительные упругие, пластические деформации упругого последствия (быстронатекающая ползучесть).

Обозначения в формулах (1)-(4) приняты в соответствии с СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».

В правой части неравенств (1) и (2) геометрические ( $b, h, A_s$ ) и физические ( $R_b, R_s, E_b, R_{bt}, R_{sw}$ ) характеристики будут изменяться во времени под действием агрессивной среды.

**Кинетическая модель** формируется на основе фундаментальных законов физической химии, определяющих развитие процесса деградации материала в объеме и во времени. Кинетику химического взаимодействия агрессивной среды с компонентами материала можно описать уравнениями переноса (доставки) (5), (6), взаимодействия (7), сорбции (8) реакционноспособных масс.

Исходя из принципов теории обобщенной проводимости поток субстанции  $J$ , переносимой в направлении  $x$ , прямо пропорционален градиенту потенциала переноса субстанции  $\Theta$ :

$$J = -D_m \text{grad}(x), \quad (5)$$

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = D_m \nabla^2; \frac{\partial \omega}{\partial t} = D_m \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2}, \quad (6)$$

$$-\frac{\partial c}{\partial t} = +kc^n \Delta \omega^m, \quad (7)$$

$$\Delta \omega = \frac{\Delta \omega_0 t}{(t_0 + t)}, \quad (8)$$

где  $J$  – плотность потока субстанции;  $D_m$  – коэффициент эффективной диффузии;  $c$  – концентрация химически активных связей в материале (бетоне);  $\Delta \omega$  – концентрация агрессивной среды;  $n, m$  – показатели степени (порядок химической реакции), которые можно принять равными 1;  $\omega_0$  – предельная сорбционная емкость при  $t \rightarrow \infty$ , величина которой не зависит от температуры, напряжений;  $t_0$  – характеристика кинетики сорбции, зависящая от температуры и нагрузки (напряжений).

## 2. Экспериментальное определение параметров деградации.

**Знание расчетных параметров химического сопротивления**, входящих в кинетические уравнения (5)–(8), даёт возможность отразить и количественно оценить показатели химического сопротивления материала и описать во времени изменение несущей способности изделия, конструкции.

Экспериментально установлено, что в процессе взаимодействия агрессивной среды с бетоном происходит изменение: массы изделия, микротвердости материала по высоте поперечного сечения образцов (рис. 1, 2, 3).

Экспериментальные данные, полученные сорбционными и склерометрическими методами и обработанные с применением уравнений (6)–(8), дают возможность утверждать: концентрация водных растворов в композите не может превышать предельную величину  $\omega_0$ , термодинамически соответствующую максимальному насыщению; перенос жидкости в цементных композитах характеризуется высокими значениями критерия Био и малыми значениями критерия Фурье; изменение прочности, деформативности наиболее интенсивно происходит на поверхности в области контакта композита с агрессивной средой в условиях предельной концентрации среды; границы области деградации можно определить по изохронам деградации; интенсивность деградации композита в условиях предельной концентрации среды хорошо описывается уравнением (7).

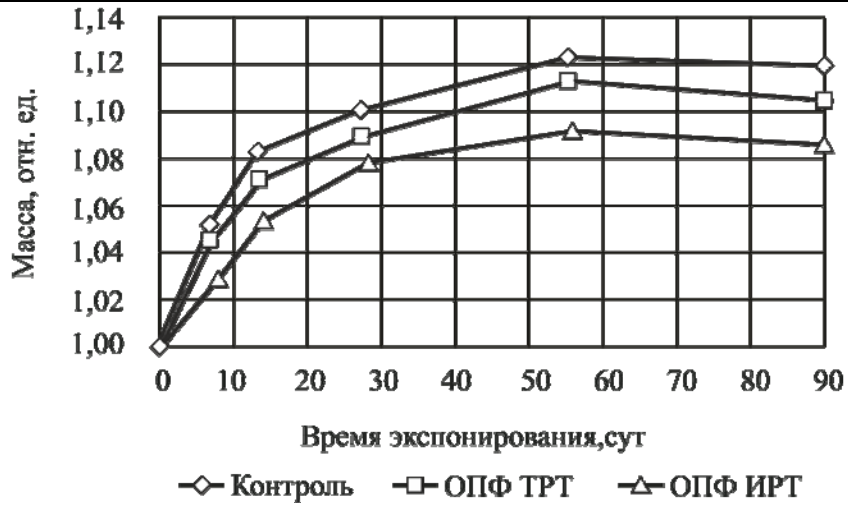


Рис. 1. Изменение массы ЦК в 2 % растворе  $H_2SO_4$

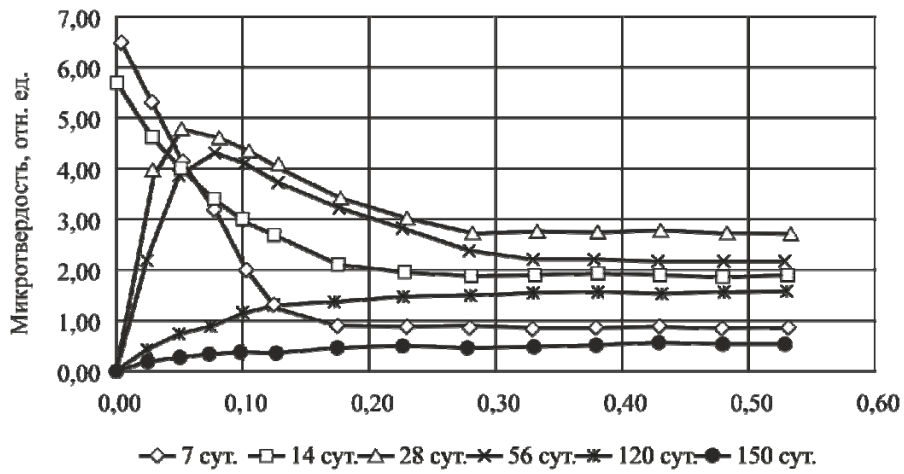


Рис. 2. Изменение микротвердости ЦК в 2 % растворе  $H_2SO_4$

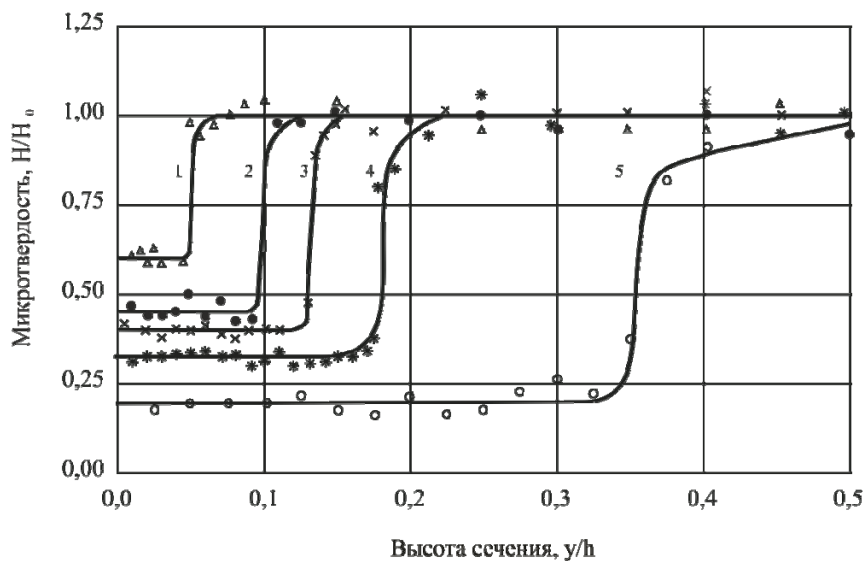


Рис. 3. Изохроны деградации цементно-песчаного композита в 20 %-м растворе  $NaOH$ . Время выдержки, сут:  
1 – 10; 2 – 20; 3 – 30; 4 – 60; 5 – 160



Для определения предельной сорбционной емкости  $\omega_0$  представим дробно-линейную функцию (8) в виде уравнения линейного в координатах « $\frac{1}{\omega} - \frac{1}{t}$ »:

$$\frac{1}{\omega} = \frac{1}{\omega_0} + \left(\frac{t_0}{\omega_0}\right)\left(\frac{1}{t}\right). \quad (9)$$

По сорбционным кривым, подобным приведенным на рис. 1, построены графики в осях « $\frac{1}{\omega} - \frac{1}{t}$ », анализ которых показывает, что экспериментальные точки хорошо ложатся на прямые, пересекающиеся с осью ординат в одной точке, соответствующей обратному значению сорбционной емкости  $\omega_0$  (рис. 4).

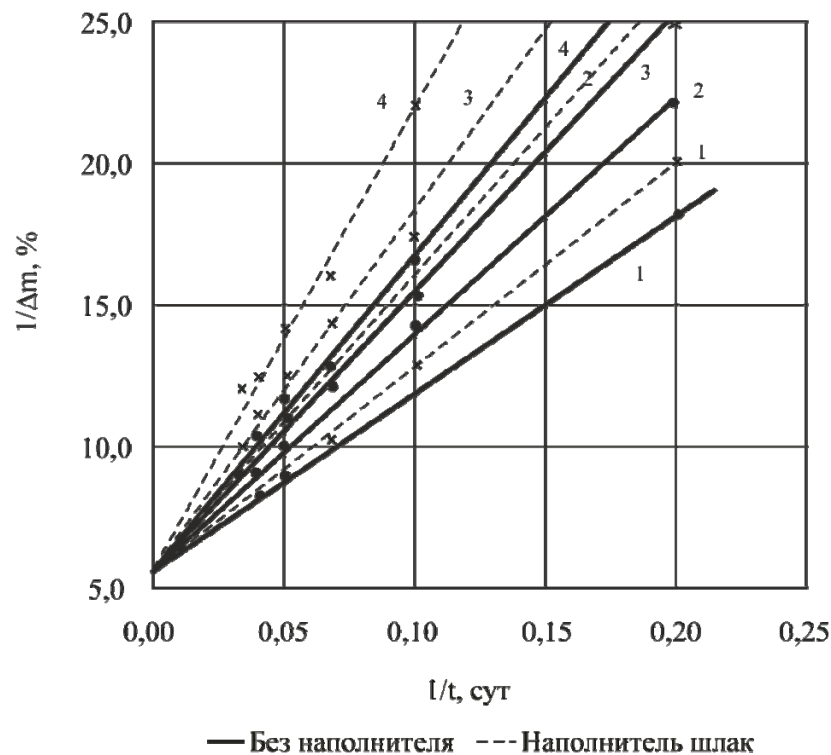


Рис. 4. Изменение массы цементных композитов, наполненных шлаком, и без наполнителя при действии сжимающих напряжений:

1 –  $0,0P_{\text{разр}}$ ; 2 –  $0,3P_{\text{разр}}$ ; 3 –  $0,5P_{\text{разр}}$ ; 4 –  $0,7P_{\text{разр}}$

Из решения уравнения (6), зная предельное значение  $\omega_0$ , находим коэффициент диффузии:

$$D_m = \left[ \ln \frac{8}{\pi} - \ln \frac{\omega_0 - \omega(t)}{\omega_0} \right] \frac{4R^2}{\pi^2 t}. \quad (10)$$

Тогда из решения уравнения (6) координату фронта (границы области) деградации (глубинный показатель) определяем по формуле

$$a = k(\xi) \sqrt{D_m t}, \quad (11)$$

где  $k(\xi)$  – коэффициент, величина которого зависит от инструментальной точности определения значения  $a$  и в первом приближении равна 0,1.

Определив значение  $a$  по изохронам деградации и построив графики в осях « $a - \sqrt{t}$ » (рис. 5), получим линейные зависимости, что подтверждает достоверность формулы для вычисления глубинного показателя и дает возможность рассчитать индикаторным методом значения  $D_m$ . Сопоставление значений  $D_m$ , полученных сорбционным и индикаторным методами дает возможность утверждать о хорошей сходимости результатов (рис. 6).

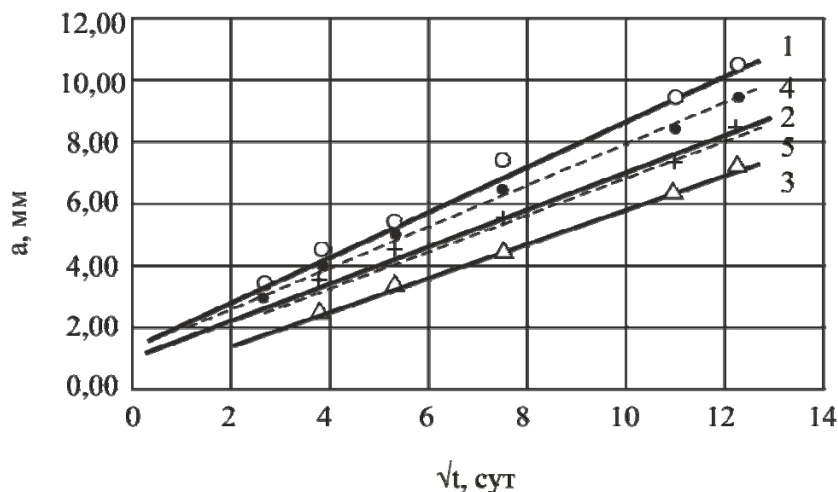


Рис. 5. Изменение глубинного показателя во времени в 2% растворе  $H_2SO_4$ :  
1, 2, 3, 4, 5 – составы цементных композитов различаются видом наполнителя и технологией приготовления

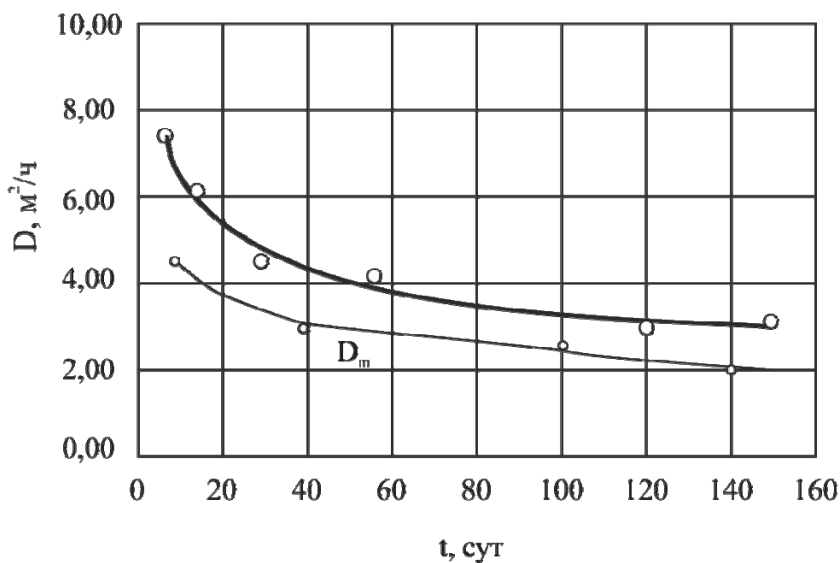


Рис. 6. Зависимость коэффициента переноса фронта деградации  $D$  и коэффициента диффузии  $D_m$  для контрольного ненаполненного состава цементной композиции от длительности действия среды

По СНиП II-И.14-69 при расчете распределения влажности в бетоне рекомендовано принимать коэффициент диффузии влаги  $D_m$  равным  $5 \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{ч}$ , а коэффициент влагопередачи  $\alpha - 2 \times 10^{-4} \text{ м}/\text{ч}$ . При этих значениях величина критерия Био будет равна:

$$B_i = \frac{\alpha}{D} l = 100l.$$

Следовательно, даже при малых размерах изделия критерий  $B_i$  больше 100, это значит, что на поверхности изделия равновесная концентрация влаги почти мгновенно достигает предельного значения  $\omega_0$ . Тогда скорость изменения количества работоспособных связей в верхних слоях бетона будет описываться уравнением (7), из решения которого при  $\omega = \omega_0$  получим:

$$k_{x.c.} = \frac{C_{b(t)}}{C_{b(0)}} = \frac{A(t)}{A(0)} = \frac{\sigma(t)}{\sigma(0)} = \exp\{-k\omega_0 t\}. \quad (12)$$

В формуле (12) неизвестный коэффициент  $k$  определяем по изохронам деградации, используя численные значения изменения микротвердости во времени на поверхности образца (рис. 7).

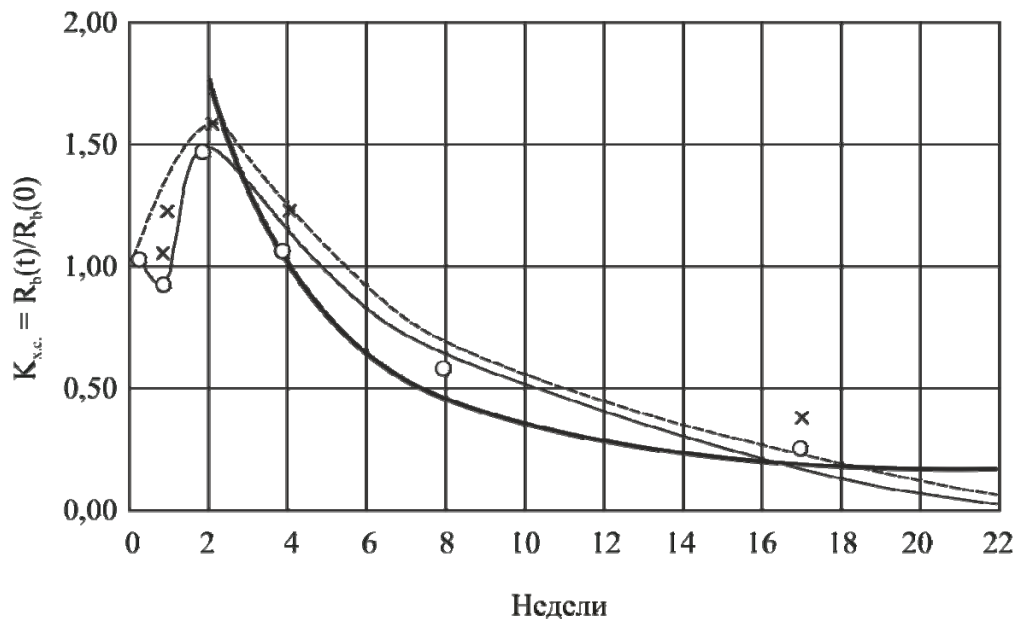


Рис. 7. Изменение  $K_{x.c.} = R_b(t)/R_b(0)$  во времени  
(x, o – экспериментальные данные, – теоретическая кривая)

Экспериментальные данные показывают, что процесс взаимодействия агрессивной среды с материалом изделия можно представлять в виде моделей, основными параметрами деградации которых будут: глубинный показатель –  $a$ ; химическое сопротивление бетона –  $k_{x.c.}$ ; химическое сопротивление арматуры  $A_s(t)$ , сорбционная емкость бетона –  $\omega_0$ , коэффициент эффективной проводимости –  $D_m$ . В качестве примера рассмотрим изгибаемый элемент с прямоугольной формой поперечного сечения и одиночной арматурой (например балочная плита с арматурой в растянутой зоне).

### 3. Пример оценки ресурса железобетонных изгибаемых элементов

Предположим, что деградация бетона плиты вызвана жидкими агрессивными средами, действие которых обусловлено технологической линией, расположенной на вышележащих этажах. Тогда возможные расчетные схемы прочности поперечного сечения, нормального к оси изгибаемого элемента, будут иметь вид (рис. 8).

На расчетных схемах показано, что: зона деградации ( $x_{ij}$ ) находится в пределах сжатой зоны ( $x_{ij} \leq x_i$ ); расчетное сопротивление, модуль деформаций в пределах зоны деградации могут изменяться по различным законам.

На рис. 8 приняты обозначения:  $R_s$ ,  $R_b$  – расчетные сопротивления арматуры и бетона;  $x_i$  – высота сжатой зоны;  $h$ ,  $h_0$  – полная и рабочая высота сечения;  $A_s$  – площадь поперечного сечения арматуры;  $b$  – ширина поперечного сечения элемента;  $x_{ij}$  – высота зоны деградации.

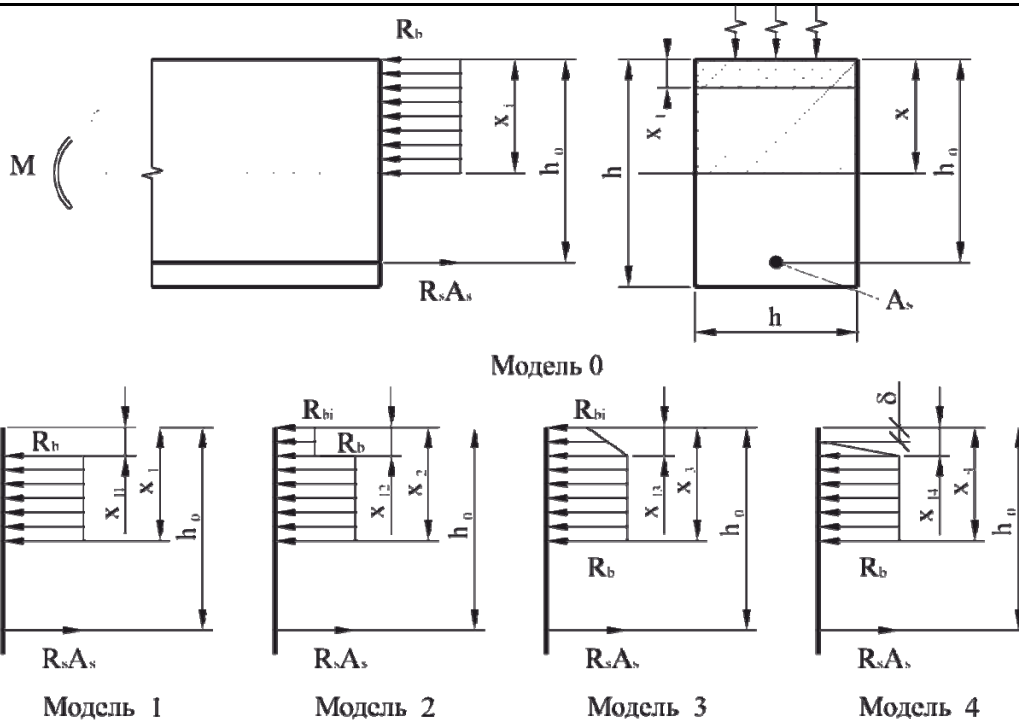


Рис. 8. Расчет долговечности изгибаемого элемента

Введем обозначения:  $\xi_0 = x/h_0$ ;  $\xi_{ij} = x_{ij}/h_0$ ;  $\mu = A_s/bh_0$ . Тогда условие прочности можно записать в виде неравенства:

$$M \leq M_{ui}, \quad (13)$$

где  $M_{ui}$  – момент, воспринимаемый сечением и определяемый по соответствующей расчетной модели ( $i=0, 1, 2, 3, 4$ ).

Для расчетной модели при  $i=0$  можно записать:

$$M_{u0} = R_b b x_0 (h_0 - 0,5 x_0).$$

Так как  $R_b b x_0 = R_s A_s$ , то, обозначив  $\xi_0 = x_0/h_0$ , получим:  $\xi_0 = \mu(R_s/R_b)$ . Тогда формула (13) примет вид:

$$M_{u0} = \xi_0 (1 - 0,5 \xi_0) R_b b h_0^2 = \alpha_m R_b b h_0^2.$$

Рассмотрим расчетную модель 1, анализ которой дает возможность получить два уравнения:

$$M_{u1} = R_b b (x_1 - x_{11}) [h_0 - 0,5(x_1 - x_{11}) - x_{11}]$$

$$R_b b (x_1 - x_{11}) = R_s A_s(t)$$

Так как  $\frac{x_1}{h_0} = \xi_1$ ;  $\frac{x_{11}}{h_0} = \xi_{11}$ ;  $\frac{R_s}{R_b} \mu = \xi_0$ , то  $\xi_0 = \xi_1 - \xi_{11}$ .

С учетом сделанных преобразований получаем формулу для определения  $M_{u1}$  в следующем виде:

$$M_{u1} = M_{u0} \left( 1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0,5 \xi_0} \right) = M_{u0} \left( 1 - \frac{0,1 \sqrt{D_{mt} / h_0}}{1 - 0,5 \xi_0} \right) \quad (14)$$

Для расчетной модели 2, решая совместно уравнения, определяющие  $M_{u2}$  и  $\xi_2$ , получаем:

$$M_{u2} = M_{u0} \left( 1 - \frac{\xi_{12} (1 - R_{b2}/R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{0,5\xi_{12}^2 R_{b2}/R_{b0} (1 - R_{b2}/R_{b0})}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right). \quad (15)$$

$$\xi_0 = \xi_2 - \xi_{12} (1 - R_{b2}/R_b).$$

Очевидно, если в формуле (15) принять  $R_{b2}=0$ , то получим выражение, подобное формуле (14):

$$M_{u2} = M_{u0} \left( 1 - \frac{\xi_{12}}{1 - 0,5\xi_0} \right)$$

$$\xi_0 = \xi_2 - \xi_{12}.$$

Анализ модели 3 позволяет получить следующее выражение для определения прочности нормальных сечений:

$$M_{u3} = M_{u0} \left( 1 - \frac{0,5\xi_{13} (1 - R_{b3}/R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{13}^2 (1 - R_{b3}/R_b) \left[ 0,125(1 - R_{b3}/R_b) - \frac{1}{6} \right]}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right), \quad (16)$$

$$\xi_0 = \xi_3 - 0,5\xi_{13} (1 - R_{b3}/R_b) = \frac{R_s}{R_b} \mu$$

Четвертая модель дает возможность получить формулу для определения  $M_{u4}$  вида:

$$M_{u4} = M_{u0} \left( 1 - \frac{(\xi_{14} + \delta/h_0)0,5}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{(0,5\xi_{14} + 0,5\delta/h_0)^2 \frac{1}{6} - \frac{1}{3}\xi_{14}^2 \delta/h_0}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)} \right), \quad (17)$$

$$\xi_0 = \xi_4 - 0,5\xi_{14} - 0,5\delta/h_0 = \frac{R_s}{R_b} \mu.$$

Полученные выражения  $M_{ui}$  позволяют определить деградационные функции, выражения которых приведены в таблице.

Деградационные функции по несущей способности изгибаемых элементов

| Расчетная схема | $\xi_i = \frac{x_i}{h_0}$                                   | $\frac{M_{u1}}{M_{u0}} = D_i$   |
|-----------------|---|---|
| 0               | $\xi_0$   | 1   |
| 1               | $\xi_0 + \xi_{11}$  | $1 - \frac{\xi_{11}}{1 - 0,5\xi_0}$   |
| 2               | $\xi_0 + \xi_{12} (1 - R_{b2}/R_b)$                         | $1 - \frac{\xi_{12} (1 - R_{b2}/R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{0,5\xi_{12}^2 R_{b2}/R_{b0} (1 - R_{b2}/R_{b0})}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)}$                                   |
| 3               | $\xi_0 + 0,5\xi_{13} (1 - R_{b3}/R_b)$                      | $1 - \frac{0,5\xi_{13} (1 - R_{b3}/R_b)}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{\xi_{13}^2 (1 - R_{b3}/R_b) \left[ 0,125(1 - R_{b3}/R_b) - \frac{1}{6} \right]}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)}$ |
| 4               | $\xi_0 + 0,5\xi_{14} - 0,5\delta/h_0 = \frac{R_s}{R_b} \mu$ | $1 - \frac{(\xi_{14} + \delta/h_0)0,5}{1 - 0,5\xi_0} + \frac{(0,5\xi_{14} + 0,5\delta/h_0)^2 \frac{1}{6} - \frac{1}{3}\xi_{14}^2 \delta/h_0}{\xi_0 (1 - 0,5\xi_0)}$   |

Действие агрессивной среды в расчетных моделях учитывается: относительным изменением прочности ( $k_{x.c.}$ ) слоев бетона  $R_{bi}/R_b$ , контактирующих с агрессивной средой; координатой границы ( $a$ ) области деградации ( $\xi_{ij}$ ); видом изохрон деградации, изменением площади арматуры  $A_s(t)$ .

Рассмотрим случай сульфатной коррозии. Относительное изменение прочности внешних слоев бетона, координаты фронта деградации под действием сульфатных сред определяются по изохронам деградации.

Экспериментально установлено, что после 150-200 суток контактирования цементного бетона с водным раствором, содержащим сульфат-ионы, его прочность снижается и составляет 10-15 % от начальной. Следовательно, оценивая ресурс железобетонных конструкций, нормативный срок эксплуатации которых составляет несколько десятков лет, в моделях деградацию, в первом приближении, моделируя можно принять  $R_{bi}/R_b = 0$ . В соответствии с результатом обработки экспериментальных данных (см. рис. 6, 7) принимаем  $D_m = 4,5 \times 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/ч;  $R_{bi}/R_b = 0,6/(t/1100)$ ;  $x_{ij} = 0,1\sqrt{D_m t}/h_0$ ;  $h_0 = 0,2$  м.

Подставив эти функции в деградационные функции таблицы, можно определить, как меняется значение деградационных функций: от длительности действия сульфат-ионов ( $t$ , ч); высоты поперечного сечения изгибаемого элемента ( $h_0$ , м); относительного содержания арматуры; отношения  $R_{bi}/R_b$ .

Анализ деградационных функций  $D(M)$ , представленных в таблице и на рис. 9, 10, показывает, что прогнозирование ресурса железобетонных изгибаемых элементов достаточно адекватно обеспечивают первая и вторая модели. Первая применяется тогда, когда прочность бетона в зоне деградации уменьшается до нулевых значений; вторая – прочность в процессе деградации не уменьшается ниже некоторого предельного значения.

На рис. 9 приведены графики изменения деградационных функций и ресурса в зависимости от процента армирования.

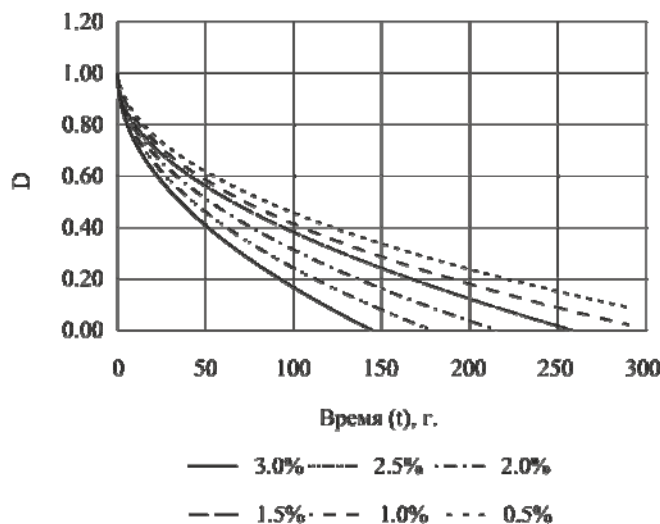


Рис.9. Деградационные функции (модель 1), зависимость от коэффициента армирования

Рассмотрим задачу прогнозирования ресурса изгибаемых железобетонных элементов, разрушение которых под действием агрессивных сред и силовых факторов возможно по наклонному сечению.

Условие прочности наклонных сечений записывается в виде:

$$Q \leq Q_b + Q_{sw}, \quad (18)$$

где  $Q_b$  – поперечная сила, воспринимаемая бетоном;  $Q_{sw}$  – поперечная сила, воспринимаемая поперечной арматурой.

Если принять вторую модель деградации, согласно которой под действием агрессивной среды свойства бетона изменились и прочность при растяжении приняла значение  $R_{b2t}$  на участке  $x_{12}$ , тогда поперечная сила  $Q_{b(t)}$ , воспринимаемая бетоном, будет определяться по формуле [11]:

$$Q_{b(t)} = \varphi R_{bt} b \frac{h_0^2}{c} \left( 1 - \frac{x_{12}}{h_0} + \frac{R_{b2t} x_{12}}{R_{bt} h_0} \right). \quad (19)$$

Если в формуле (19) принять  $x_{12} = 0$ , то получим формулу М.С. Боришанского вида

$$Q_b = \varphi R_{bt} b \frac{h_0^2}{c}.$$

Тогда изменение поперечной силы, воспринимаемой бетоном, под действием агрессивной среды можно описать функцией вида:

$$Q_{b(t)} = Q_b \left[ 1 - \frac{x_{12}}{h_0} \left( 1 - \frac{R_{b2t}}{R_{bt}} \right) \right],$$

где  $x_{12}$  – глубинный показатель;  $\frac{R_{b2t}}{R_{bt}}$  – коэффициент химического сопротивления.

С учетом полученных формул условие прочности наклонного сечения с учетом действия агрессивной среды можно записать:

$$Q \leq Q_b \left[ 1 - \frac{0,1\sqrt{Dt}}{h_0} (1 - k_{xc}) \right] + \sum R_{sv} A_{sv}(t). \quad (20)$$

**Выводы:** условия прочности нормальных и наклонных сечений дают возможность рассчитать долговечность, оценить остаточный ресурс железобетонного изгибаемого элемента, работающего в условиях действия агрессивных сред. При этом максимально используются наработки по расчету железобетонных конструкций методом предельных состояний; фундаментальные законы кинетики процессов взаимодействия твердого тела с агрессивной средой.

#### Список литературы

1. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982. – 287 с.
2. Бондаренко, В.М. Предложения к теории силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций / В.М. Бондаренко // Тр. РААСН. – СПб., 2006.
3. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: Изд-во АСВ, 2004. – 472 с.
4. Бондаренко, В.М. Диссипативная теория силового сопротивления железобетона / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин. – М.: Студент, 2015. – 111 с.
5. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
6. Полак, А.Ф. Расчет долговечности железобетонных конструкций / А.Ф. Полак. – Уфа: Изд-во Уфимского нефтяного ин-та, 1983. – 116 с.
7. Селяев, В.П. Химическое сопротивление и долговечность строительных материалов, изделий и конструкций / В.П. Селяев, Т.А. Низина, В.Н. Уткина; под общ. ред. д-ра тех. наук В.П. Селяева. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2003. – 48 с.
8. Селяев, В.П. Химическое сопротивление наполненных цементных композитных композитов / В.П. Селяев, В.И. Соломатов, Л.М. Ошкина; РААСН. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 160 с.
9. Селяев, В.П. Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградационных функций / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Соколин, Е.Л. Кечуткина // Жилищное строительство. – 2014. – №2. – С. 8–19.

10. Ратнер, С.Б. Физическая механика пластмасс. Как прогнозируют работоспособность / С.Б. Ратнер, В.П. Ярцев. – М.: Химия, 1992. – 320 с.
11. Аткинсон, А. Физическая модель прочности бетонных пластинок, работающих в сульфатсодержащих грунтовых водах / А. Аткинсон, Херн // Материалы симпозиума общества материаловедов. – 1990. – № 176. – С. 149–156.
12. Бейкер, С.А. Поливинилхлоридное покрытие для защиты бетона от коррозии в канализационных системах / С.А. Бейкер // Водоснабжение и канализация. – 1977. – С. 19–24.
13. Балтазар-Самора, М.А. Развитие коррозии в ранней стадии в железобетоне, выдержанном в сульфатах / М.А. Балтазар-Самора [и др.] // Электрохимическая наука. – 2012. – №7. – С. 588–600.
14. Кумар, С. Влияние морской воды на цементные растворы и бетон. Разработки в области цемента и бетона / С. Кумар. – Нью-Дели, 2003. – С. 30–37.
15. Мобашер, В. Модели разрушения цементных материалов при воздействии агрессивной сульфатной среды. Ч. 2: Сравнение с экспериментами / В. Мобашер, Р. Тиксье // Инженерное материаловедение. – 2003. – № 15 (4). – С. 314–322.

### References

1. Bondarenko, V.M. Engineering methods of nonlinear theory of reinforced concrete / V.M. Bondarenko, S.V. Bondarenko. – М.: Stroyizdat, 1982. – 287 p.
2. Bondarenko, V.M. Offers resistance to the power of the theory of corrosion-damaged reinforced concrete structures / V.M. Bondarenko // RAASN. – SPb., 2006.
3. Bondarenko, V.M. Computational models of the power resistance of reinforced concrete: monograph / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – М.: Publishing House of the DIA, 2004. – 472 p.
4. Bondarenko, V.M. The dissipative resistance of reinforced concrete theory of power / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin. – М.: Student, 2015. – 111 p.
5. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – М.: Stroyizdat, 1987. – 264 p.
6. Polak, A.F. Calculation of durability of concrete structures / A.F. Polak. – Ufa: Publishing House of the Ufa Oil Institute, 1983. – 116 p.
7. Selyaev, V.P. Chemical resistance and durability of building materials, products and structures / V.P. Selyaev, T.A. Nisina, V.N. Utkina; Under the general editorship of Dr. thech. Sciences V.P.Selyaev. – Saransk: Publishing House of the muzzle. University, 2003. – 48 p.
8. Selyaev, V.P. Chemical resistance of the filled composite cement composites / V.P. Selyaev, V.I. Solomatov, L.M. Oshkina; RAABS. – Saransk: Publishing house University, 2005. – 160 p.
9. Selyaev, V.P. Predicting the durability of reinforced concrete bent elements by degradation functions / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, E.L. Kechutkina // Civil engineering. – 2014. – №2. – P. 8–19.
10. Ratner, S.B. Physical plastic mechanics. How to predict performance / S.B. Ratner, V.P. Yartsev. – М.: Chemistry, 1992. – 320 p.
11. Atkinson A, Hearne JA. Mechanistic model for the durability of concrete barriers exposed to sulfate-bearing ground waters / A. Atkinson, J.A. Hearne // Materials Research Society Symposium. – 1990. – № 176. – P. 149–156.
12. Baker, S.A. PVC Lining for Corrosion Protection of Concrete in Sewerage Systems / S.A. Baker // Middle East Water and Sewerage. – 1977. – P. 19–24.
13. Baltazar-Zamora, M.A. Evaluation of the corrosion at early age in reinforced concrete exposed to sulfates / M.A. Baltazar-Zamora [et al.] // Electrochemical science. – 2012. – № 7. – P. 588–600.
14. Kumar, S. Effect of sea water on the behavior of cement paste and concrete. Advances in cement and concrete / S. Kumar. – New Delhi, 2003. – P. 30–37.
15. Mobasher, B. Modeling of damage in cement-based materials subjected to external sulfate attack. Part 2: Comparison with Experiments / B. Mobasher, R. Tixier // Materials Engineering. – 2003. – № 15(4). – P.314–322.



*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Максимова Ирина Николаевна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

**Макридин Николай Иванович**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Технологии строительных  
материалов и деревообработки»

**Егина Наталья Александровна**,  
магистрант

*Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарева*

430005, Республика Мордовия, г. Саранск,  
ул. Большевикская, 68,  
тел. (8342) 48-25-64

**Ерофеев Владимир Трофимович**,  
доктор технических наук, зав. кафедрой  
«Строительные материалы и технологии»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Maksimova Irina Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Management of quality  
and technology of construction production»  
E-mail: maksimovain@mail.ru

**Makridin Nikolai Ivanovich**,  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Technologies of building  
materials and wood processing»

**Egina Natalja Aleksandrovna**,  
Graduate student

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

430005, Republic of Mordovia, Saransk,  
68, Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 48-25-64

**Erofeev Vladimir Trofimovich**,  
Doctor of Sciences, Head of the department  
«Building materials and technology»

## О ПАРАМЕТРАХ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД С ПОЗИЦИЙ СТРУКТУРНОЙ МЕХАНИКИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

И.Н. Максимова, В.Т. Ерофеев, Н.И. Макридин, Н.А. Егина

Экспериментально показано влияние генезиса горной породы на параметры механического поведения на диаграмме нагружения с позиций структурной механики разрушения материалов с оценкой на каждом опытном образце совокупности предельных значений физико-механических параметров конструкционной прочности, отражающих механическое качество рассматриваемых горных пород, используемых в качестве заполнителей бетона, по основному параметру механического поведения структуры материала конструкционного назначения – по параметру трещиностойкости.

*Ключевые слова: конструкционная прочность, гранит, известняк, мрамор, туф*

## ON THE PARAMETERS OF MECHANICAL BEHAVIOR OF ROCKS FROM THE POINT OF STRUCTURAL MECHANICS OF MATERIALS FRACTURE

I.N. Maksimova, V.T. Erofeev, N.I. Makridin, N.A. Egina

The effect of rock genesis on the parameters of the mechanical behavior is experimentally shows on the diagram of loading from the positions of structural mechanics of materials fracture with the evaluation on each sample aggregate limits of physical and mechanical properties of structural strength, reflecting the mechanical quality of considered rocks used as concrete aggregate, according main parameter of the mechanical behavior of the material structure for constructional purposes – the fracture toughness parameter.

*Keywords: structural strength, granite, limestone, marble, travertine*

В соответствии с подходом структурной механики разрушения композиционных материалов реальная прочность материала связывается с его энергией разрушения, модулем упругости и размером дефекта структуры, обуславливающим начало разрушения. При этом предсказано теоретически и показано экспериментально влияние дисперсной фазы на три указанных фактора, от которых зависит прочность [1].

Важнейшим параметром механического поведения структуры материалов конструкционного назначения является трещиностойкость (вязкость разрушения), характеризующая способность материала тормозить развитие дефектов структуры и определяющая способность материала как противостоять хрупкому разрушению, так и сопротивляться развитию постепенного разрушения в течение заданного времени [2, 3].

Известно, что в конструкционном бетоне доля заполнителей занимает до 80 % его объема. При этом большая часть этого объема приходится на крупный заполнитель. Поэтому правильный выбор заполнителей для бетона и их разумное использование является одной из важнейших задач технологии бетона [4].

В связи с этим оценка параметров механического поведения горных пород, используемых в качестве заполнителей (дисперсной фазы) для бетонов, влияющих на фактор реальной прочности цементного композита, представляет не только теоретический интерес, но и большую практическую важность, так как в задаче выбора заполнителей, особенно для бетонов нового поколения высокой прочности и надежности, эти вопросы весьма слабо освещены в специальной литературе [5].

Современное развитие структурной механики разрушения материалов позволило установить научные принципы оценки материалов и методов испытания и предложить в совокупности силовые, деформационные и энергетические критерии, позволяющие точнее прогнозировать механическое поведение материала под нагрузкой. В выявлении закономерностей микро- и макроразрушений в нагруженном материале значительная роль принадлежит методам и средствам их оценки [6, 7].

Для исследования были изготовлены опытные образцы из горных пород: гранита, известняка, мрамора и туфа. Из каждого материала было изготовлено по семь образцов-близнецов размерами: 24×60×300 мм из гранита; 23×43×340 мм из известняка; 20×50×300 мм из мрамора и 40×40×200 мм из туфа – для оценки динамического модуля упругости  $E_d$  и коэффициента внутреннего трения  $K_{вт}$ , а также по семь образцов призм типа I по ГОСТ 29167 размерами 24×40×160 мм из гранита; 23×40×160 мм из известняка; 20×40×160 мм из мрамора и 40×40×160 мм из туфа – для изучения и оценки деформативности растянутой зоны образцов при трехточечном изгибе с использованием тензодатчиков омического сопротивления базой 30 мм и измерителя деформаций АИД-1М, критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1c}$  при неравновесных механических испытаниях на изгиб образцов типа I с использованием разрывной машины типа FM-1000, энергии разрушения  $G_c$  и  $G_p$ , критической интенсивности высвобождения энергии или силы продвижения трещины разрушения  $G_{1c}$ , предела прочности на растяжение при изгибе  $R_{рн}$  и плотности материала горных пород  $\rho$ .

В соответствии с рекомендациями ГОСТ 29167 начальные надрезы в центре пролета образцов-призм типа I наносили режущим инструментом – фрезой толщиной 1 мм с алмазным покрытием режущей кромки. Длина надреза составляла 1/3 высоты (толщины) каждого образца. Тензодатчики базой 30 мм наклеивали в вершине нанесенного надреза с двух противоположных граней образцов-призм.

Перечисленные выше параметры конструкционной прочности горных пород последовательно определяли на каждом образце.

Нагружение образцов производили ступенями в 0,1 ожидаемой прочности на растяжение при изгибе, на каждой степени нагружения образцы выдерживали в течение 1–1,5 минут для записи показаний приборов. Скорость движения подвижного захвата машины FM-1000 во всех опытах была одинаковой и составляла  $166 \cdot 10^{-7}$  м/с.

В таблице представлена совокупность экспериментально полученных параметров конструкционной прочности, отражающих качество горных пород.

| Параметры  | Горная порода |           |         |         |
|--|---------------|-----------|---------|---------|
|  | гранит        | известняк | мрамор  | туф     |
| Плотность $\rho$ , г/см <sup>3</sup>   | 2,78          | 2,44      | 2,73    | 1,70    |
| Прочность $R_{\text{ри}}$ , МПа  | 15,57         | 8,11      | 23,47   | 6,52    |
| Коэффициент изменчивости $R_{\text{ри}}$ , %   | 3,5           | 4,9       | 4,3     | 5,2     |
| Динамический модуль упругости $E_{\text{д}}$ , МПа   | 40840         | 34120     | 89780   | 11830   |
| Коэффициент изменчивости $E_{\text{д}}$ , %  | 12,8          | 12,1      | 7,0     | 15,4    |
| Коэффициент внутреннего трения $K_{\text{вт}}$   | 0,01224       | 0,00519   | 0,00192 | 0,00320 |
| Коэффициент изменчивости $K_{\text{вт}}$ , %   | 15,6          | 11,8      | 16,6    | 26,0    |
| Деформативность растянутой зоны $\varepsilon_{\text{с}}$ при достижении нагрузки $F_{\text{с}}^*$ , мм/м   | 0,13          | 0,87      | 0,10    | 0,21    |
| Предельная деформативность растянутой зоны, $\varepsilon_{\text{р}}$ , при нагрузке $F_{\text{с}}^*$ , мм/м  | 0,36          | 1,07      | 0,30    | 0,31    |
| Условный критический коэффициент интенсивности напряжений $K_{1\text{с}}$ , МПа·м <sup>0,5</sup>   | 1,270         | 0,785     | 1,684   | 0,614   |
| Коэффициент изменчивости $K_{1\text{с}}$ , %   | 5,8           | 6,3       | 5,7     | 7,8     |
| Энергия разрушения $G_{\text{с}}$ при достижении нагрузки $F_{\text{с}}^*$ и деформативности $\varepsilon_{\text{с}}$ , Дж/м <sup>2</sup>            | 138           | 401       | 93,8    | 109,4   |
| Энергия разрушения $G_{\text{р}}$ при нагрузке $F_{\text{с}}^*$ и достижении предельной деформативности $\varepsilon_{\text{р}}$ , Дж/м <sup>2</sup> | 296           | 753       | 281     | 161,5   |
| Критическая интенсивность высвобождения энергии, или сила продвижения трещины $G_{1\text{с}}$ , Н/м  | 39,493        | 18,06     | 31,586  | 31,867  |

Оценку  $E_{\text{д}}$  и  $K_{\text{вт}}$  образцов осуществляли с помощью прибора ИКВТ-2 [8], принцип работы которого заключается в том, что в образце испытываемого материала возбуждаются механические колебания изгиба. Испытательная схема прибора показана на рис. 1.

Пользуясь значением измеренной резонансной частоты колебаний образца прямоугольного сечения, динамический модуль упругости определяли по формуле

$$E_{\text{д}} = 0,965 \cdot 10^{-6} (l/b)^3 \cdot ((P - f^2)/a)T, \quad (1)$$

где  $l$ ,  $b$ ,  $a$  – соответственно длина, высота, ширина образца, см;  $P$  – масса образца, г;  $f$  – резонансная частота колебаний изгиба, Гц;  $T$  – коэффициент, учитывающий размер образца ( $T=1,07-1,2$ );  $0,965 \cdot 10^{-6}$  – коэффициент, учитывающий основной вид колебаний образца и размерность выбранных единиц измерений.

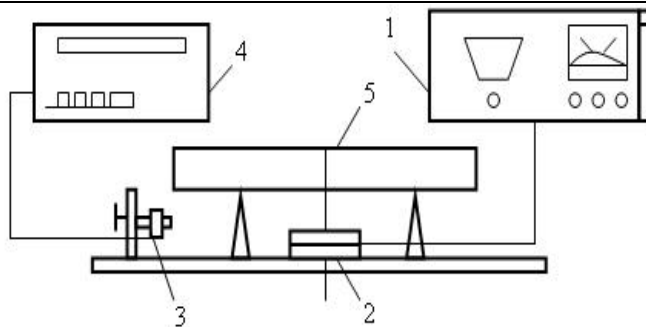


Рис. 1. Испытательная схема прибора ИКВТ-2:  
1 – генератор звуковой частоты; 2 – возбудитель колебаний; 3 – электромагнитный преобразователь; 4 – частотомер Ф5035; 5 – образец

Коэффициент внутреннего трения определяли по формуле[8]

$$K_{вт} = \Delta f / (\sqrt{3} \cdot f), \quad (2)$$

где  $\Delta f$  – ширина резонансной характеристики образца на уровне половины максимальной амплитуды изгибных колебаний по обе стороны от резонанса (рис. 2).

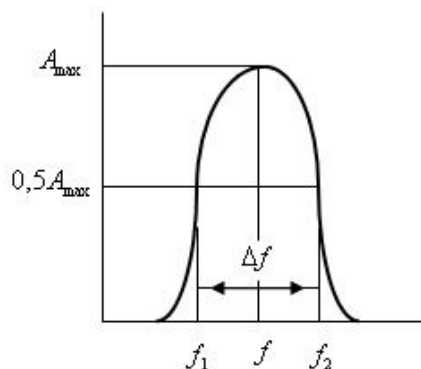


Рис. 2. Полоса резонансной характеристики образца

Коэффициент внутреннего трения, получаемый при изгибных колебаниях образца, является мерой внутреннего трения структуры реальных материалов.

Как известно, внутренним трением твердого тела принято называть свойство этого тела необратимо превращать в теплоту механическую энергию, сообщенную ему в процессе деформирования. Различные механизмы превращения упругой энергии в тепловую обусловлены атомным и молекулярным строением материалов, что позволяет считать метод измерения внутреннего трения весьма эффективным современным физическим методом изучения реальной дисперсно-кристаллитной структуры природных каменных материалов.

Критический коэффициент интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  определяли по зависимости [9]

$$K_{Ic} = \frac{3F_c^* \cdot L_0}{2b^{3/2} \cdot t} \cdot \sqrt{\frac{a_0}{b}} \cdot (1,93 - 3,07\lambda + 14,53\lambda^2 - 25,11\lambda^3 + 25,8\lambda^4), \quad (3)$$

где  $F_c^*$  – критическая нагрузка начала движения трещины;  $L_0$  – расстояние между опорами, равное  $3,8b$ ;  $b$  – высота образца;  $t$  – ширина образца;  $a_0$  – глубина надреза;  $\lambda = a_0/b$ .

Энергетические характеристики трещиностойкости  $G_c$  и  $G_p$ , Дж/м<sup>2</sup>, определяли по формуле

$$G_c = \frac{A}{S}, \quad (4)$$

где  $A$  – полная работа разрушения, Дж;  $S$  – площадь разрушения, м<sup>2</sup>.

В свою очередь,

$$A = F_c^* \cdot \varepsilon_c (\varepsilon_p), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_c$  и  $\varepsilon_p$  – соответственно деформативность растянутой зоны  $\varepsilon_c$  и предельная деформативность  $\varepsilon_p$ .

Критическую интенсивность высвобождения энергии, или силу продвижения трещины,  $G_{1c}$ , Н/м, определяли по зависимости [10]

$$G_{1c} = \frac{K_{1c}^2}{E_d}. \quad (6)$$

Силовую характеристику трещиностойкости для образцов типа I при трехточечном изгибе,  $R_{\text{ри}}$ , вычисляли по формуле [9]

$$R_{\text{ри}} = \frac{3F_c^* \cdot L}{2tb^2 \cdot (1-\lambda)^2}, \quad (7)$$

где  $F_c^*$  – максимальная (разрушающая) нагрузка, Н;  $L$  – расстояние между опорами, м;  $t$  и  $b$  – ширина и высота сечения, м;  $\lambda = a/b$  – относительная длина надреза.

Системно-структурный сравнительный анализ экспериментально полученной совокупности параметров конструкционной прочности горных пород разного генезиса с позиций структурной механики разрушения материалов позволяет отметить ряд особенностей механического поведения на диаграмме нагружения сравниваемых материалов.

Из табличных данных, прежде всего, следует отметить, что наилучшие, то есть наибольшие, значения прочности  $R_{\text{ри}}$  и динамического модуля упругости  $E_d$  показали образцы из мрамора и гранита, имевшие плотность соответственно 2,73 и 2,78 г/см<sup>3</sup>. Поверхность разрушения на изломе опытных образцов мрамора характеризовалась весьма однородной и микрозернистой, а гранита – заметно зернистой композитной микроструктурой.

Сравнивая эти горные породы по численным значениям коэффициента внутреннего трения  $K_{\text{вт}}$ , который отражает, как отмечено выше, меру внутреннего трения структуры реальных материалов, с учетом вышеизложенного можно констатировать, что зернистая микроструктура гранита по сравнению с очень тонкой и однородной микроструктурой мрамора является более диссипативной структурой, так как  $K_{\text{вт}}$  гранита превышает  $K_{\text{вт}}$  мрамора более чем в шесть раз.

Сравнивая деформативность растянутой зоны, следует отметить, что наибольшие значения предельной деформативности, в свою очередь, показали образцы известняка и гранита, что находится в полном соответствии с показаниями энергии разрушения  $G_c$  и  $G_p$  образцов этих материалов.

Что касается численных значений коэффициента интенсивности напряжений  $K_{1c}$  и силы продвижения трещины разрушения  $G_{1c}$ , то они оказались наиболее эффектив-

ными на образцах гранита и мрамора, что обусловлено, на наш взгляд, численными значениями динамического модуля упругости мрамора и диссипативными свойствами микроструктуры гранита.

Оценивая значения коэффициентов изменчивости рассматриваемых параметров конструкционной прочности горных пород, которые оказались в пределах от 11,8 % для известняка до 26 % у туфа, следует отметить, что наиболее чувствительным параметром является коэффициент внутреннего трения.

Таким образом, проведенные комплексные исследования физико-механических свойств по диаграмме нагружения опытных образцов типа I горных пород различного генезиса, испытанных по методике ГОСТ 29167, позволяют сформулировать ряд выводов:

- предложен и реализован научно обоснованный методологический подход комплексной оценки механического поведения при силовом воздействии и конструкционного выбора природных каменных материалов для бетонов повышенной надежности и долговечности;

- предложена действенная программа оценки конструкционной прочности как комплексной характеристики, включающей сочетание критериев прочности, надежности и долговечности горных пород, позволяющая, с одной стороны, более обоснованно подходить к выбору крупного заполнителя для получения бетонов конструкционного назначения с повышенной трещиностойкостью, а с другой, – проводить анализ полученных зависимостей с позиций системно-структурного подхода;

- результаты исследований могут быть положены в основу получения новых физически обоснованных параметров механического поведения и классификации каменных пород по трещиностойкости в целях реализации основной концепции разработки композиционных строительных материалов, заключающейся в соединении высокой прочности с хорошей вязкостью разрушения;

- экспериментальная комплексная оценка силовых, энергетических и деформационных параметров механического поведения горных пород позволяет предложить критерий конструкционного качества заполнителей  $K_k$  при их выборе для бетонов повышенной прочности и трещиностойкости. Таким критерием качества, на наш взгляд, может быть безразмерное произведение  $K_k = E_d \cdot K_{вт} \cdot K_{1с} \cdot G_{1с}$ , а в первом приближении – произведение  $E_d \cdot K_{вт}$ , сомножители которого определяют неразрушающим методом исследования с помощью прибора ИКВТ-2. Критерий качества  $K_k$  заполнителей из горных пород в определенной мере согласовывает требования, предъявляемые при выборе заполнителя, с современными воззрениями на сущность реальной прочности композитных материалов.

### Список литературы

1. Ленг, Ф.Ф. Разрушение композитов с дисперсными частицами в хрупкой матрице / Ф.Ф. Ленг // Композиционные материалы. Том 5: Разрушение и усталость: пер. с англ. под ред. Г.П. Черепанова. – М.: Мир, 1978. – С. 11–57.
2. Брок, Д. Основы механики разрушения / Д. Брок. – М.: Высшая школа. 1980. – 368 с.
3. Гузеев, Е.А. Разрушение бетона и его долговечность / Е.А. Гузеев [и др.]. – Минск: Тыздзень, 1997. – 170 с.
4. Баженов, Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2007. – 528 с.
5. Максимова, И.Н. Прочность и параметры разрушения цементных композитов / И.Н. Максимова [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордовского университета, 2015. – 360 с.
6. Максимова, И.Н. Методологические аспекты прогнозирования механического поведения цементных бетонов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №3 (20). – С. 37–41.
7. Максимова, И.Н. Методологические аспекты комплексной оценки механического поведения цементных композитов / И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, В.Т. Ерофеев,

Ю.В. Полубарова // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №1 (22). – С. 28–33.

8. Прибор для измерения коэффициента внутреннего трения типа ИКВТ-2: инструкция. – Л.: ЛЭТИ, 1967. – 32 с.

9. ГОСТ 29167-91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении.

10. Карпенко, Н.И. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко [и др.] // Научные труды РААСН. Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2011 году. – М. – Орел, 2011. – С. 242–248.

### References

1. Leng, F.F. Destruction of composites with the dispersed particles in the brittle matrix / F.F. Leng // Composite materials. Tom 5. Destruction and fatigue. Trans. with the Engl. edited by. G.P. Cherepanova. – M.: Peace, 1978. – P. 9–57.

2. Broek, D. Bases are the mechanics of destruction / D. Broek. – M.: Higher school, 1980. – 368 p.

3. Guzeev, E.A. Destruction of concrete and its longevity / E.A. Guzeev [etc.]. – Minsk: Tydzen, 1997. – 170 p.

4. Bazhenov, Yu. M. Concrete technology / Yu. M. Bazhenov. – M.: ASV, 2007. – 528 p.

5. Maksimova, I.N. The strength and fracture parameters of cement composites / I.N. Maksimova and [etc.]. – Saransk: Publisher University of Mordovia, 2015. – 360 p.

6. Maksimova, I.N. Methodological aspects of predicting the mechanical behavior of cement concrete / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, I.A. Surov // Regional architecture and engineering. – 2016. – № 3 (20). – P. 37–41.

7. Maksimova, I.N. Methodological aspects of a comprehensive assessment of the mechanical behavior of cement composites / I.N. Maksimova, N.I. Makridin, V.T. Erofeev, Yu.V. Polubarova // Regional architecture and engineering. – 2015. – № 1 (22). – P. 28–33.

8. Instrument for measuring the coefficient of internal friction of the type ИКВТ-2: instruction. – L.: L.E-T.I., 1967. – 32 p.

9. ALL-UNION STATE STAN 29167-91. Concretes. Methods of the definition of the characteristics of resistance to cracks (fracture toughness) with the static load.

10. Karpenko, N.I. The experimental determination of physicommechanical properties and parameters of the mechanics of the destruction of ultrahigh-strength concretes / N.I. Karpenko [etc.] // Proceedings RAASN. Basic research RAASN on scientific support of architecture, urban planning and the construction industry of the Russian Federation in 2011. – Moscow–Orel: RAASN, 2011. – P. 242–248.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Логанина Валентина Ивановна,**  
доктор технических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Жегера Кристина Владимировна,**  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: jegera@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Loganina Valentina Ivanovna,**  
Doctor of Sciences, Professor,  
Head of the department «Quality  
management and construction technologies»  
E-mail: loganin@mai.ru

**Zhegera Christina Vladimirovna,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Quality management and  
construction technologies»  
E-mail: jegera@yandex.ru

## ОЦЕНКА МОРОЗОСТОЙКОСТИ ПЛИТОЧНОГО КЛЕЯ НА ЦЕМЕНТНОЙ ОСНОВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ В РЕЦЕПТУРЕ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ

В.И. Логанина, К.В. Жегера

Представлены результаты оценки морозостойкости плиточного клея на цементной основе с применением в качестве модифицирующей добавки аморфных алюмосиликатов. Определена марка плиточного клея по морозостойкости и морозостойкость контактной зоны плиточного клея.

*Ключевые слова: морозостойкость, плиточный клей, цемент, аморфные алюмосиликаты*

## EVALUATION OF FROST RESISTANCE OF TILE ADHESIVE ON CEMENT WITH THE USE OF COMPOUNDING ADDITIVE BASED ON AMORPHOUS ALUMINOSILICATES

V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera

The results of evaluation frost resistance of cement-based tile adhesives with the use of amorphous aluminosilicates as a modifying additive are presented. The mark of frost resistant tile glue and frost resistance of the contact zone of tile glue are determined.

*Keywords: frost, tile adhesive, cement, amorphous aluminosilicates*

Для отделки наружных и внутренних стен зданий и сооружений облицовочной плиткой применяют плиточные клеи, изготовленные на основе сухой строительной смеси (ССС). Для повышения технологических и эксплуатационных свойств плиточного клея в рецептуру сухой строительной смеси вводят специальные добавки, способствующие ускорению отверждения, повышению устойчивости к сползанию [1–3].

Ранее проведенные исследования [4–6] позволили установить эффективность применения аморфных алюмосиликатов в качестве модифицирующей добавки в ССС. Разработана рецептура плиточных ССС, которая включает в себя портландцемент марки М400, минеральный наполнитель в соотношении фракций 0,63-0,315:0,315-0,14 соответственно 80:20 (%) и насыпной плотностью 1538,2 кг/м<sup>3</sup>, пластификатор Кратасол, редиспергируемый порошок NeolithP4400 и в качестве минеральной добавки – аморфные алюмосиликаты.

С целью подтверждения возможности применения плиточного клея на основе разработанной сухой смеси в наружных работах исследовалась морозостойкость клеевого слоя на основе разработанной ССС.



Способность клевого слоя не подвергаться разрушению длительное время при многократном замораживании и оттаивании в насыщенном водой состоянии определяется наличием в его структуре резервных пор, не заполненных водой. Установлено, что введение в рецептуру цементного композита добавки на основе аморфных алюмосиликатов приводит к изменению его пористости (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Изменение значения пористости цементных образцов  
в зависимости от содержания добавки

| Составы      | Пористость, % |              |              |                |
|--------------|---------------|--------------|--------------|----------------|
|              | общая         | капиллярная  | гелевая      | контракционная |
| контрольный  | 41,2 ± 0,035* | 18,7 ± 0,084 | 15,5 ± 0,044 | 7,0 ± 0,098    |
| 10 % добавки | 40,3 ± 0,054  | 16,7 ± 0,055 | 16,3 ± 0,065 | 7,3 ± 0,078    |
| 20 % добавки | 38,3 ± 0,049  | 12,0 ± 0,068 | 18,1 ± 0,053 | 8,2 ± 0,086    |
| 30 % добавки | 37,3 ± 0,062  | 9,0 ± 0,078  | 19,5 ± 0,048 | 8,8 ± 0,059    |

П р и м е ч а н и е . \* Значения пористости приведены с учетом доверительного интервала с обеспеченностью 0,95.

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, в цементном камне с применением добавки на основе аморфных алюмосиликатов по сравнению с контрольным образцом наблюдается уменьшение общей и капиллярной пористости и увеличение гелевой и контракционной пористости, что приводит к повышению стойкости цементного композита [7]. Так, у контрольного образца общая и капиллярная пористости меньше пористости образца с применением в рецептуре 20 % добавки от массы цемента соответственно на 6,8 % и 35,8 %, а контракционная и гелевая пористости выше соответственно на 17,1 % и 16,8 %. Уменьшение капиллярной пористости будет способствовать повышению морозостойкости плиточного клея.

Оценка морозостойкости клевого раствора проводилась путем попеременного замораживания и оттаивания образцов клевого раствора размером 70 мм × 70 мм × 70 мм после 28 суток воздушно-сухого твердения [8]. В табл. 2 представлены результаты проведенных испытаний на морозостойкость плиточного клея. На рис. 1 и 2 представлены фотографии образцов плиточного клея до проведения испытаний и после проведения испытаний соответственно.

Т а б л и ц а 2

Морозостойкость плиточного клея

| Результат испытаний образцов, циклы |                        |                      |                      |                      |                      |                      |                       |
|-------------------------------------|------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| 0                                   | 5                      | 10                   | 15                   | 25                   | 35                   | 50                   | 75                    |
| 43,2                                | $\frac{42,83^*}{0,16}$ | $\frac{42,70}{0,47}$ | $\frac{42,60}{0,70}$ | $\frac{42,07}{1,94}$ | $\frac{39,86}{7,78}$ | $\frac{39,36}{8,24}$ | $\frac{38,43}{10,42}$ |

П р и м е ч а н и е . \* Над чертой указано значение прочности при сжатии (МПа), под чертой – изменение прочности (%).



1

2

Рис. 1. Образцы до проведения испытаний



Рис. 2. Образцы плиточного клея после проведения испытаний

После испытаний 50 циклов образцы плиточного клея на цементной основе имеют едва заметное меление, трещины на поверхности, видимые невооруженным глазом, составляют до 5 % поверхности, коррозия отсутствует. Снижение прочности при сжатии составляет менее 10 %. Марка по морозостойкости – F50.

При определении марки по морозостойкости контактной зоны  $F_{кз}$  проводили оценку прочности сцепления. Результаты проведенных испытаний представлены в табл. 3 и рис.3.

Т а б л и ц а 3

Морозостойкость контактной зоны плиточного клея

| Результат испытаний образцов, циклы |                       |                    |                     |                      |                      |                      |              |
|-------------------------------------|-----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--------------|
| 0                                   | 5                     | 10                 | 15                  | 25                   | 35                   | 50                   | 75           |
| 1,2                                 | $\frac{1,18^*}{1,67}$ | $\frac{1,17}{2,5}$ | $\frac{1,12}{6,67}$ | $\frac{1,03}{14,16}$ | $\frac{1,00}{16,67}$ | $\frac{0,97}{19,17}$ | отрыв плитки |

П р и м е ч а н и е . \* Над чертой указано значение прочности сцепления плиточного клея (МПа), под чертой – изменение прочности сцепления плиточного клея (%).



Рис. 3. Образцы после проведения испытания:  
1 – оттаивание в воздушной среде; 2 – оттаивание во влажной среде

Анализ полученных результатов показал, что отрыв происходит по керамической плитке и составляет  $R_{kog} = 0,97$  МПа, что удовлетворяет требованиям, указанным в стандарте серии DIN EN 12004 –  $R_{adg} \geq 0,5$  МПа [9]. Контактная зона плиточного клея с цементно-песчаной подложкой и керамической плиткой обладает достаточной морозостойкостью. Марка по морозостойкости контактного слоя составила  $F_{кз}50$ .

Установлено, что клеевой слой на основе разработанной рецептуры сухой клеевой строительной смеси является трещиностойким, морозостойким и стойким к отслаиванию для условий г. Пензы и городов России, находящихся в зоне влажности 3 (сухая) и климатических подрайонах ПВ, в соответствии со СНиП 23-01-99\*.

### Список литературы

1. Селяев, В.П. Свойства цементных композиций, наполненных цеолитсодержащими породами / В.П. Селяев, Л.И. Куприяшкина, А.А. Болдырев // Архитектурно-строительное материаловедение на рубеже веков: материалы Междунар. интернет-конф. – 2002. – С. 177–179.
2. Мирский, Я.В. Новые адсорбенты – молекулярные сита / Я.В. Мирский, М.Г. Митрофанов, А.З. Дорогочинский. – Грозный: Чечено-ингушск. книжн. изд., 1964. – 385 с.
3. Голубев, В.И. Новые продукты на рынке добавок для сухих строительных смесей и бетонов / В.И. Голубев, П.Г. Василик // Строительные материалы. – 2006. – № 3. – С. 24–25.
4. Логанина, В.И. Формирование прочности цементной композиции в присутствии синтезированных алюмосиликатов / В.И. Логанина, К.В. Жегера // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Строительство и архитектура». – 2015. – Т. 15(№2). – С. 43 – 46.
5. Loganina, V.I. The effectiveness of use of the composite binder as a dry mix / V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera // Case Studies in Construction Materials. – 2015. – № 3. – P. 137–140.
6. Loganina, V.I. Structure formation of cement stone in the presence of additive on amorphous silica-alumina/ V.I.Loganina, Ch.V.Zhegera, O.V.Grintsova, J.G.Ivashenko// Journal of Engineering and Applied Science. – 2016. – №11(6) – P. 1439–1443.
7. Горчаков, Г.И. Повышение морозостойкости бетона / Г.И. Горчаков, М.М. Капкин, Б.Г. Скрамтаев. – М.: Стройиздат, 1965. – 190 с.
8. ГОСТ 31356-07 Смеси сухие строительные на цементном вяжущем. Методы испытаний. – М.: МНТКС, 2008. – 16 с.
9. DIN EN 12004 (2012 – 09) Растворы и клеи для керамической плитки. Требования, оценка соответствия, классификация и обозначение: пер. с нем. – М.: Стандартинформ, 2012. – 29 с.

### References

1. Selyaev, V.P. Properties of cement compositions filled with zeolite-bearing rocks / V.P.Selyaev, L.I.Kuprishkina, A.A.Boldyrev // Architectural and Building Materials Science at the Turn of the Century: Materials of the Intern. Internet-conference. – 2002. – P. 177–179.
2. Mirsky, Ya.V. New adsorbents – molecular sieves / Ya.V.Mirsky, M.G. Mitrofanov, A.Z. Dorogochinsky. – Grozny: Chechen-Ingush. Books.Ed., 1964. – 385 p.
3. Golubev, V.I. New products in the market of additives for dry building mixtures and concrete / V.I. Golubev, P.G. Vasilik // Building Materials. – 2006. – No. 3. – P. 24–25.
4. Loganina, V.I. Forming the strength of a cement composition in the presence of synthesized aluminosilicates / V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera // Bulletin of South Ural State University. Series «Construction and architecture» – 2015. – Vol. 15 (№2). – P. 43– 46.
5. Loganina, V.I. The effectiveness of the composite binder as a dry mix / V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera // Case Studies in Construction Materials. – 2015. – No. 3. – P. 137–140.

6. Loganina V.I. Structure of the cement in the presence of additive on amorphous silica-alumina / V.I. Loganina, Ch.V. Zhegera, O.V. Grintsova, J.G. Ivashenko // Journal of Engineering and Applied Science. – 2016. – No. 11 (6). – P. 1439–1443.
7. Gorchakov, G.I. Increase of frost resistance of concrete / G.I. Gorchakov, M.M. Kapkin, B.G. Skramtaev. – М.: Stroizdat, 1965. – 190 с.
8. GOST 31356-07 Dry construction mixtures on a cement binder. Test methods. – М.: MNTKS, 2008. – 16 p.
9. DIN EN 12004 (2012 – 09) Mortars and adhesives for ceramic tiles. Requirements, conformity assessment, classification and designation; Per.With him. – М.: Standartinform, 2012. – 29 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Данилов Александр Максимович**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, зав. кафедрой  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькина Ирина Александровна**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Danilov Alexander Maksimovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Construction Sciences, Head of the department  
«Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna**,  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Mathematics  
and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

## ПОЛИНОМИАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ПРИ СИНТЕЗЕ КОМПОЗИТОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Определяется ограниченность использования полиномиальных моделей при синтезе материалов с позиций системного анализа. Показывается необходимость исследования скачкообразных изменений вида изолиний. Указываются методы определения аналитических зависимостей свойств материала от рецептурно-технологических параметров.

*Ключевые слова: строительные материалы, полиномиальные модели, эффективность, оптимизация, методы, математическое программирование*

## POLYNOMIAL MODELS IN SYNTHESIS OF COMPOSITES

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The limited use of polynomial models in the synthesis of materials from the positions of system analysis is determined. The necessity of investigating abrupt changes in the shape of isolines is shown. The methods for determining the analytical dependencies of the properties of the material from the prescription and technological parameters are indicated.

*Keywords: building materials, polynomial models, efficiency, optimization, methods, mathematical programming*

Обычно при изучении вопросов формирования структуры и свойств композиционных материалов широко используются модели [1...5], полученные для локальной области с использованием методов математического планирования эксперимента, в меньшей степени – интерполяционные модели для всей заданной области изменения факторов в факторном пространстве. Однако, как правило, полученные модели не подвергаются дальнейшему анализу с целью их использования для решения задач прогнозирования, в должной мере не устанавливаются связи параметров моделей с рецептурно-технологическими параметрами (свойствами и структурой материала). *Фактически имеем решение общей задачи идентификации без надлежащей параметрической идентификации.* Получаемые на основе моделей изолинии используются лишь как иллюстративный материал, хотя во многих случаях вид изолиний характеризует фундаментальные процессы формирования структуры и свойств материала. В большинстве сложных систем, в том числе в композиционных материалах, *качественные изменения отчетливо проявляются именно в областях скачкообразных изменений*

вида линий равного уровня. Они, как правило, соответствуют структурно-фазовым переходам (если изолинии – семейства гипербол, то скачкообразному изменению структуры и свойств соответствуют точки  $(x_1, x_2)$  факторного пространства, лежащие на паре пересекающихся прямых (асимптотах)  $x_{2(1)} = k_1x_1 + b_1, x_{2(2)} = k_2x_1 + b_2$ ).

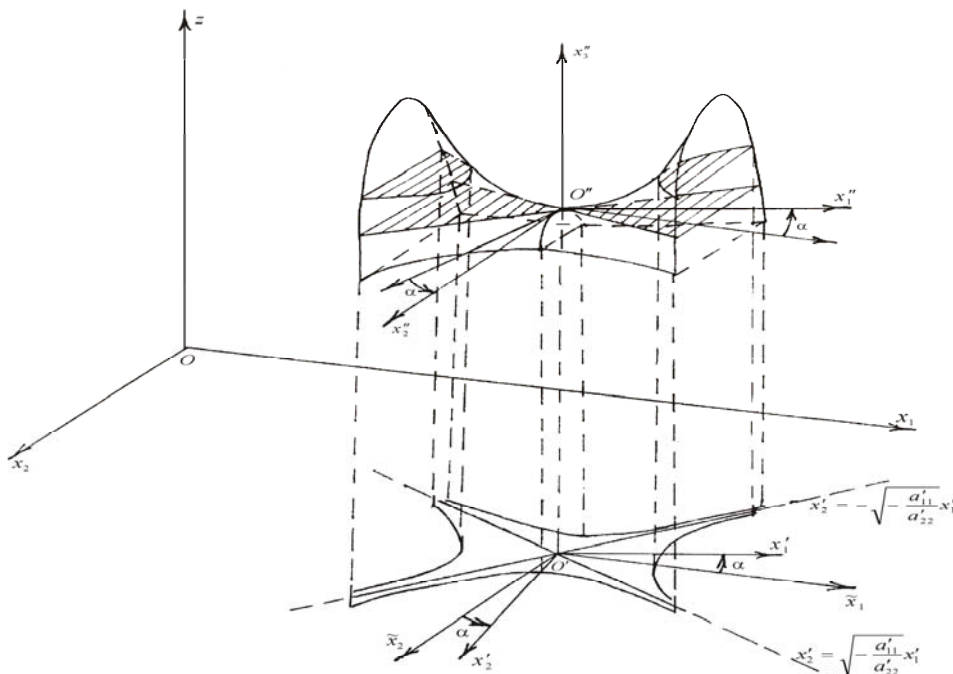
Если в двумерном факторном пространстве целевая функция  $z = F(x_1, x_2)$  с требуемой точностью описывается квадратичной моделью

$$z = a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + 2a_{13}x_1 + 2a_{23}x_2 + a_0, \quad (1)$$

где хотя бы одно из чисел  $a_{11}, a_{22}, a_{12}$  отлично от нуля, то линии равного уровня  $z = z_0 = \text{const}$  будут кривыми второго порядка

$$a_{11}x_1^2 + 2a_{12}x_1x_2 + a_{22}x_2^2 + 2a_{13}x_1 + 2a_{23}x_2 + a_{33} = 0,$$

где  $a_{33} = a_0 - z_0$  (см. рисунок).



Уравнение (1) есть уравнение поверхности второго порядка (в рассматриваемом случае – *гиперболический параболоид*). На рисунке  $O'(x_{10}, x_{20}, 0); O''(x_{10}, x_{20}, z_0)$  – седловая точка, в которой удовлетворяются условия Куна – Таккера;  $z_0 = z(x_{10}, x_{20})$ . В системе координат  $O''x_1''x_2''x_3''$  поверхность описывается *каноническим уравнением*

$$\frac{x_1''^2}{p} - \frac{x_2''^2}{q} = 2x_3'' \quad (2)$$

(плоскость  $z = 0$  пересекает параболоид (3) по линии с уравнением  $\frac{x_1''^2}{p} - \frac{x_2''^2}{q} = 0$ ,

состоящей из двух прямых  $\frac{x_1''}{\sqrt{p}} - \frac{x_2''}{\sqrt{q}} = 0$  и  $\frac{x_1''}{\sqrt{p}} + \frac{x_2''}{\sqrt{q}} = 0$ ; плоскость  $z = h, h > 0$

пересекает параболоид по гиперболе с полуосями  $\sqrt{2hp}$ ,  $\sqrt{2hq}$ , монотонно возрастающими от 0 до  $+\infty$  при возрастании  $h$  от 0 до  $+\infty$ , а при  $h < 0$  – по гиперболе, но уже с полуосями  $\sqrt{-2hq}$ ,  $\sqrt{-2hp}$ , монотонно убывающими от  $+\infty$  до 0, когда  $h$  возрастает от  $-\infty$  до 0).

И вообще, для центральной поверхности второго порядка с центром в начале координат

$$Ax^2 + By^2 + Cz^2 + 2Dxy + 2Exz + 2Fyz + G = 0, \quad (3)$$

всегда можно выбрать новые координатные оси, чтобы в преобразованном уравнении остались лишь члены, содержащие квадраты координат, то есть так, чтобы преобразованное уравнение имело вид:

$$\lambda_1 x''^2 + \lambda_2 y''^2 + \lambda_3 z''^2 + G = 0. \quad (4)$$

Задача сводится к отысканию *ортогонального преобразования*, связывающего  $x'', y'', z''$  и  $x, y, z$ , чтобы совокупность членов второго порядка относительно координат в левой части уравнения представилась в виде суммы квадратов.

Аналогичную картину получим в случае вещественного пространства  $n$  измерений (факторное пространство в этом случае имеет размерность  $n-1$ ). Здесь будем иметь вещественную квадратичную форму от  $n$  переменных

$$\varphi(x_1, \dots, x_n) = \sum_{i,k=1}^n a_{ik} x_i x_k; \quad (5)$$

$a_{ki} = a_{ik}$ ;  $x_1, \dots, x_{n-1}$  – факторы,  $x_n$  – параметр оптимизации. В случае (3):  $x = x_1, y = x_2, z = x_3$ ;  $a_{11} = A; a_{22} = B; a_{33} = C; a_{12} = a_{21} = D; a_{13} = a_{31} = E; a_{23} = a_{32} = F$ .

При преобразовании формы (4) введением вместо  $x_k$  переменной  $x'_k$ :

$$(x_1, \dots, x_n) = B(x'_1, \dots, x'_n), \quad (6)$$

форма будет иметь вид:

$$\varphi = \sum_{i,k=1}^n c_{ik} x'_i x'_k; \quad (7)$$

$$C = B^T A B;$$

если преобразование (6) ортогонально ( $B^T = B^{-1}$ ), то  $C = B^{-1} A B$ ;  $A = \|a_{ik}\|$  – матрица квадратичной формы.

Задача построения ортогонального преобразования (6), приводящего квадратичную форму (5) к сумме квадратов, сводится к задаче построения ортогональной матрицы  $B$ , чтобы матрица (7) была диагональной матрицей  $[\lambda_1, \dots, \lambda_n]$ ; элементы  $\lambda_k$  и будут коэффициентами при  $x_k'^2$ . Справедливо:

$$B^{-1} A B = [\lambda_1, \dots, \lambda_n], \quad A B = B [\lambda_1, \dots, \lambda_n], \quad \sum_{s=1}^n a_{is} b_{sk} = \lambda_k b_{ik}, \quad (8)$$

$$A \mathbf{x}^{(k)} = \lambda_k \mathbf{x}^{(k)}, \quad (9)$$

где  $\mathbf{x}^{(k)} = (b_{1k}, \dots, b_{nk})$  – собственный вектор матрицы  $A$ , соответствующий собственному значению  $\lambda_k$ . Отсюда для элементов  $b_{1k}, \dots, b_{nk}$   $k$ -го столбца матрицы  $B$  получили систему  $n$  однородных уравнений

$$\begin{aligned} (a_{11} - \lambda_k) b_{1k} + a_{12} b_{2k} + \dots + a_{1n} b_{nk} &= 0; \\ a_{21} b_{1k} + (a_{22} - \lambda_k) b_{2k} + \dots + a_{2n} b_{nk} &= 0; \\ &\dots \\ a_{n1} b_{1k} + a_{n2} b_{2k} + \dots + (a_{nn} - \lambda_k) b_{nk} &= 0. \end{aligned} \tag{10}$$

Определитель системы (10)

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda & \dots & a_{2n} \\ & & \dots & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} - \lambda \end{vmatrix} = 0 \tag{11}$$

(характеристическое уравнение матрицы  $A$ ).

Так как  $A$  – симметричная матрица (совпадает со своей транспонированной  $A^T$ ), все корни  $\lambda_k$  характеристического уравнения матрицы  $A$

$$|A - \lambda E| = 0$$

будут вещественными.

Если уравнение (11) имеет *различные корни*, то получим  $n$  взаимно ортогональных вещественных векторов  $\mathbf{x}^{(k)}$ . Так как уравнение (9) линейное, однородное относительно  $\mathbf{x}^{(k)}$ , умножив его решение на постоянную, можно сделать так, чтобы векторы  $\mathbf{x}^{(k)}$  имели длину, равную 1. Составляющие этих векторов и образуют столбцы матрицы  $B$  (удовлетворяет условию ортонормированности по столбцам; ортогональная матрица).

В случае *кратных корней* характеристического уравнения коэффициенты  $\lambda_k$  в приведенной квадратичной форме

$$\varphi = \lambda_1 x_1'^2 + \dots + \lambda_n x_n'^2 \tag{12}$$

будут корнями уравнения, причем каждый кратный корень будет повторяться столько раз, сколько единиц содержит его кратность. Каждый столбец окончательного ортогонального преобразования  $B$  даст вектор, являющийся решением уравнения (9), причем можно сделать так, что соответствующее значение  $\lambda_k$  будет совпадать с тем коэффициентом в квадратичной форме (12), который стоит при соответствующей переменной. *Фактически получили алгоритм качественного анализа структуры и свойств материалов в области структурно-фазовых переходов.*

Полученные модели в дальнейшем должны использоваться при непосредственном синтезе строительных материалов. Известно, что *классическая задача оптимизации* состоит в нахождении минимума *целевой функции*  $q(\mathbf{x})$ , где  $\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  – точка в пространстве  $R^n$  при наличии *ограничений* типа равенств

$$f_i(\mathbf{x}) = 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad m < n.$$

Если ограничения имеют место, то минимум функции  $q(\mathbf{x})$  будет *условным*. Если ограничения отсутствуют, то говорят о *безусловном* минимуме, нахождение которого сводится к определению и исследованию *стационарных точек функции*  $q(\mathbf{x})$ .



В задаче квадратичного программирования (частный случай задачи нелинейного программирования (НЛП)) минимизируется сумма линейной и квадратичной форм

$$q(\mathbf{x}) = \sum_j c_j x_j + \sum_j \sum_k d_{jk} x_j x_k$$

при ограничениях вида линейных неравенств

$$\sum_k a_{ik} x_k - b_i \leq 0, \quad i = \overline{1, m}$$

и неотрицательности переменных

$$x_j \geq 0, \quad j = \overline{1, n}.$$

Эффективные вычислительные методы для задачи НЛП, к сожалению, существуют, лишь когда целевая функция имеет **единственный оптимум** (является и глобальным). Если квадратичная форма является положительно определённой, то она является выпуклой функцией: при любом  $0 \leq \lambda \leq 1$  имеет место:

$$f[\lambda \mathbf{x}_1 + (1-\lambda) \mathbf{x}_2] \leq \lambda f(\mathbf{x}_1) + (1-\lambda) f(\mathbf{x}_2).$$

Линейная форма – также выпуклая функция. Поэтому в рассматриваемом случае целевая функция будет выпуклой. *Необходимые условия Куна – Таккера:*

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \lambda)}{\partial x_j} \begin{cases} > 0, & \text{если } x_j = 0, \\ = 0, & \text{если } x_j > 0, \end{cases} \quad j = \overline{1, n},$$

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \lambda)}{\partial \lambda_i} \begin{cases} > 0, & \text{если } \lambda_i = 0, \\ = 0, & \text{если } \lambda_i > 0, \end{cases} \quad i = \overline{1, m}$$

будут и достаточными условиями существования единственного оптимума.

Эти условия можно записать в виде:

$$\left. \begin{aligned} x_i \geq 0, \quad p_j \geq 0, \quad x_j p_j = 0, \quad j = \overline{1, n}, \\ \lambda_i \geq 0, \quad q_i \geq 0, \quad \lambda_i q_i = 0, \quad i = \overline{1, m}; \end{aligned} \right\};$$

$$L(\mathbf{x}, \lambda) = q(\mathbf{x}) + \sum_{i=1}^m \lambda_i f_i(\mathbf{x}) = \sum_j c_j x_j + \sum_j \sum_k d_{jk} x_j x_k + \sum_i \lambda_i \left( \sum_k a_{ik} x_k - b_i \right);$$

$$\frac{\partial L(\mathbf{x}, \lambda)}{\partial x_j} = p_j, \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} = -q_i,$$

где  $L(\mathbf{x}, \lambda)$  – функция Лагранжа.

Справедливо:

$$\begin{aligned} c_j + 2 \sum_k d_{jk} x_k + \sum_i \lambda_i a_{ij} &= p_j, \quad j = \overline{1, n}; \\ b_i - \sum_k a_{ik} x_k &= q_i, \quad i = \overline{1, m}. \end{aligned} \quad (13)$$

В соответствии с условиями Куна – Таккера требуется найти решение этих уравнений при условиях:

$$\begin{aligned} x_j p_j = 0, \quad \lambda_i q_i = 0, \quad x_j \geq 0; \\ \lambda_i \geq 0, \quad p_j \geq 0, \quad q_i \geq 0; \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n}. \end{aligned} \quad (14)$$

Классический способ решения этой задачи состоит в том, что уравнения  $f_i(\mathbf{x}) = 0, \quad i = \overline{1, m}, \quad m < n$ , используются для исключения из рассмотрения  $m$  переменных. При этом целевая функция приводится к виду

$$q = (x_1, x_2, \dots, x_n) = q_1(y_1, y_2, \dots, y_{n-m}),$$

где через  $y_1, y_2, \dots, y_{n-m}$  обозначены неисключённые переменные. Задача сводится к нахождению значений  $y_1, y_2, \dots, y_{n-m}$ , которые обращают в минимум функцию  $q_1$  и на

которые не наложено никаких ограничений, то есть к задаче на безусловный экстремум.

Если ограничения имеют сложный вид, то исключение с их помощью  $m$  переменных из функции  $q(\mathbf{x})$  представляет значительные трудности. В связи с этим задачи на условный экстремум и сводятся к задаче на безусловный экстремум с использованием функции Лагранжа.

В рассматриваемом случае система (13) содержит  $n + m$  уравнений с  $2(n + m)$  переменными  $x_j, \lambda_i, p_j, q_i$ , из которых  $n + m$  являются свободными и могут быть приравнены к нулю. Остальные переменные образуют при этом базисное решение, которое является допустимым, если выполняются условия (14).

Если число переменных в задаче невелико, то можно попытаться угадать допустимое базисное решение, положив произвольные  $n + m$  переменных свободными, приравняв их нулю, и, решив систему (14), найти значения базисных переменных. Однако нет никаких гарантий, что полученные значения переменных будут удовлетворять условиям (14). Поэтому попытки угадать допустимое базисное решение приходится проводить многократно.

Если допустимое базисное решение найдено, то его улучшение, то есть переход к новому лучшему базису, можно осуществить по симплекс-методу (как в задаче линейного программирования). Отличие здесь заключается в том, что при выборе новой базисной переменной необходимо проверять выполнение условий  $x_j p_j = 0$ ,  $\lambda_i q_i = 0$ : если в базисе имеется  $x_j$  или  $\lambda_i$ , то в него не может быть введено  $p_j$  или  $q_i$  соответственно. При большом числе переменных угадать допустимое базисное решение становится чрезвычайно трудоёмким. В этом случае следует обратиться к известным эффективным систематическим методам получения допустимого базисного решения.

Для определения зависимости отклика от *количественных* факторов  $\mathbf{x}$  и ошибок  $\varepsilon$  наблюдения отклика используется *регрессионная модель*:

$$y = \eta + \varepsilon = f(\mathbf{x}, \boldsymbol{\theta}) + \varepsilon;$$

для  $u$ -го наблюдения:

$$y_u = \eta_u + \varepsilon_u = f(\mathbf{x}_u, \boldsymbol{\theta}) + \varepsilon_u;$$

$$E[\varepsilon_u^2] = \sigma^2, \quad E[\varepsilon_u] = 0, \quad E[\varepsilon_u \varepsilon_v] = 0, \quad u \neq v \quad - \text{ для равноточных и}$$

некоррелированных наблюдений. Предполагается, что отклик определяется только количественными факторами (при анализе и обработке экспериментальных данных используются аппарат метода наименьших квадратов и техника статистической проверки гипотез). Если функция отклика  $f$  есть линейная комбинация базисных функций от факторов, то получится модель регрессионного анализа, линейная по параметрам (линейная модель):

$$y = \eta + \varepsilon = \beta_1 f_1(x_1, x_2, \dots, x_k) + \beta_2 f_2(x_1, x_2, \dots, x_k) + \dots + \beta_m f_m(x_1, x_2, \dots, x_k) + \varepsilon,$$

$$y = \sum_{i=1}^m \beta_i f_i(\mathbf{x}) + \varepsilon,$$

$$y = \mathbf{f}^T(\mathbf{x}) \boldsymbol{\beta} + \varepsilon;$$

$\beta_i$  – параметры модели (*коэффициенты регрессии*)  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $f_i(x_1, x_2, \dots, x_k)$  – известные базисные функции переменных  $x_1, x_2, \dots, x_k$  (факторы), не зависящие от параметров модели;  $\mathbf{f}^T(\mathbf{x}) = \|f_1(\mathbf{x}), f_2(\mathbf{x}), \dots, f_m(\mathbf{x})\|$  – вектор-строка базисных функций (базисная вектор-функция);  $\boldsymbol{\beta}^T = \|\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m\|$  – вектор параметров модели.

Частными случаями *полиномиальной модели регрессионного анализа* (полином по факторам) являются:

– *модель регрессионного анализа первого порядка (линейная модель)*, задаваемая полиномом первого порядка:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon$$

(введя фиктивную переменную  $x_0 \equiv 1$ , модель можно представить в виде

$$y = \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \varepsilon);$$

– *модель регрессионного анализа второго порядка (квадратичная модель)*, задаваемая полиномом второго порядка; (в общем случае содержит  $\frac{(k+1)(k+2)}{2}$  параметров):

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \cdots + \beta_k x_k + \beta_{12} x_1 x_2 + \cdots + \beta_{k-1,k} x_{k-1} x_k + \beta_{11} x_1^2 + \dots + \beta_{k,k} x_k^2 + \varepsilon.$$

Если отклик определяется *качественными* факторами (например, вид материала) и ошибками наблюдений отклика, то рассматривается *модель дисперсионного анализа*

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 \cdots + \beta_k x_k + \varepsilon;$$

$x_k$  – дискретные переменные, обычно *целочисленные* (часто  $x_i$  либо 0, либо 1). Обычно если количественный фактор принимает небольшое число различных значений в эксперименте, то он рассматривается как *качественный*. При *детерминированных* неизвестных параметрах получается модель с *постоянными факторами (модель I)*; если все  $\beta_i$  (может быть за исключением одного) являются *случайными* величинами, то – *модель со случайными факторами (модель II)*; в промежуточных случаях – *смешанная модель*. При воздействии на отклик как *количественных, так и качественных факторов* анализ и обработка экспериментальных данных осуществляется *методами ковариационного анализа* (сочетание элементов регрессионного и дисперсионного анализа). Практическая ценность моделирования независимо от его вида определяется *адекватностью математической модели* (соответствие математической модели экспериментальным данным при выбранном критерии); проверка адекватности модели осуществляется по *F-критерию Фишера*. При моделировании, естественно, используются и методы планирования эксперимента.

*Ограниченность использования указанных моделей* при синтезе композиционных материалов связана с необходимостью установления аналитических зависимостей между параметрами моделей и рецептурно-технологическими факторами: *параметры моделей являются лишь интегральными характеристиками [6] такой связи.*

### Список литературы

1. Garkina, I.A. Methodological principles design of composite materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.A. Budylna // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11(11). – P. 2524–2527.
2. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Seylaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464.
3. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
4. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // J. Ponte. – Mar, 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
5. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov / J. Ponte. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.

6. Сизиков, В.П. Кризис системной методологии: с позиций синтеза систем / В.П. Сизиков, В.И. Разумов // Труды V Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'06. – М.: Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова РАН, 2006. – С.1818–1860.

#### References

1. Garkina, I.A. Methodological principles design of composite materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.A. Budylna // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol.11(11). – P. 2524–2527.
2. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Selyaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11(11). – P. 2461–2464.
3. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Journal of Basic and Applied Research International. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.
4. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // J. Ponte. – Mar, 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
5. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov / J. Ponte. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.
6. Sizikov, V.P. Crisis of system methodology: from positions of systems synthesis / V.P. Sizikov, V.I. Razumov // Proceedings of the V International Conference «System Identification and Control Problems» SICPRO'06. – М.: Institute for Control Sciences. V.A.Trapeznikov of the Russian Academy of Sciences, 2006. – P.1818–1860.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Данилов Александр Максимович**,  
доктор технических наук, профессор,  
советник РААСН, зав. кафедрой  
«Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Гарькина Ирина Александровна**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Математика и математическое  
моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Danilov Alexander Maksimovich**,  
Doctor of Sciences, Professor, Adviser of the  
Russian Academy of Architectural and  
Construction Sciences, Head of the department  
«Mathematics and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna**,  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Mathematics  
and Mathematical Modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

## КОМПОЗИТЫ: ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ КИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина

Приводится аналитический синтез композитов, основанный на ретроспективной параметрической идентификации кинетических процессов с использованием графоаналитического метода.

*Ключевые слова: композиты, формирование свойств, кинетические процессы, параметрическая идентификация, графоаналитический метод*

## COMPOSITES: GRAPHIC-ANALYTICAL METHOD OF PARAMETRICAL IDENTIFICATION OF KINETIC PROCESSES

A.M. Danilov, I.A. Garkina

The analytical synthesis of composites based on retrospective parametrical identification of kinetic processes with the use of a graphic-analytical method is given.

*Keywords: composites, formation of properties, kinetic processes, parametrical identification, graphic-analytical method*

Рассмотрим дисперсные системы, для кинетических процессов в которых характерно наличие точки перегиба; описываются обыкновенным дифференциальным уравнением (учитывается скорость и ускорение изменения контролируемого параметра) [1...3]. Поэтому *определение абсциссы точки перегиба является важнейшим элементом параметрической идентификации.*

В отклонениях от равновесного состояния  $x = x_m$  будем иметь:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = 0 \quad (n > 0)$$

$$(W(p) = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_2 p + 1)}).$$

Пусть  $k_{1,2} = -\lambda_{1,2}$  – корни характеристического уравнения

$$k^2 + 2nk + \omega_0^2 = 0.$$

При  $n^2 - \omega_0^2 > 0$  имеем

$$z = c_1 e^{-\lambda_1 t} + c_2 e^{-\lambda_2 t};$$

$$\lambda_1 = n + \sqrt{n^2 - \omega_0^2}, \lambda_2 = n - \sqrt{n^2 - \omega_0^2}, \lambda_1 > \lambda_2 > 0.$$

При начальных условиях  $z(0) = -x_m, \dot{z}(0) = 0$  будем иметь:

$$z = \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} x_m e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} x_m e^{-\lambda_2 t},$$

$$x = \frac{x_m}{\lambda_1 - \lambda_2} (\lambda_2 e^{-\lambda_1 t} - \lambda_1 e^{-\lambda_2 t}) + x_m.$$

Из  $\ddot{x} = 0$  следует

$$\frac{\lambda_2 \lambda_1^2}{\lambda_1 - \lambda_2} x_m e^{-\lambda_1 t} - \frac{\lambda_1 \lambda_2^2}{\lambda_1 - \lambda_2} x_m e^{-\lambda_2 t} = 0,$$

$$\lambda_1 e^{-\lambda_1 t_n} = \lambda_2 e^{-\lambda_2 t_n}, \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = e^{(\lambda_1 - \lambda_2) t_n}.$$

Так что точке перегиба соответствует значение  $t = t_n$ , определяемое из условия

$$t_n = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \quad (2)$$

(при  $t = t_n$  вогнутость сменяется на выпуклость). Полученное соотношение устанавливает связь абсциссы точки перегиба с корнями характеристического полинома (корни различные).

Приведем методiku определения  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  по экспериментально полученным значениям процесса  $x(t)$ . Из  $\lambda_2 < \lambda_1$  следует, что составляющая  $\lambda_2 \frac{x_m}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_1 t}$

процесса  $x(t)$  затухает быстрее, чем аналогичная составляющая, соответствующая корню  $\lambda_2$ . Поэтому практически значение  $\lambda_2$  можно определить по концу экспериментально полученного процесса  $x(t)$ . Без ограничения общности рассуждений можно принять  $x_m = 1$  (равносильно масштабированию  $x(t)$ ). При значениях  $t$ , превышающих некоторого значения  $t_1$ , справедливо

$$1 - x(t) \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t};$$

$$\lambda_1 e^{-\lambda_2 t} \gg \lambda_2 e^{-\lambda_1 t}, \quad \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \gg e^{-(\lambda_1 - \lambda_2) t}, \quad \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \gg -(\lambda_1 - \lambda_2) \cdot t.$$

Откуда

$$\frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \gg -t, \quad t_n \gg -t, \quad t \gg t_n.$$

Таким образом,

$$1 - x(t) \approx \frac{\lambda_1}{\lambda_1 - \lambda_2} e^{-\lambda_2 t}$$

при  $t \gg t_n$ .

Введем

$$y(t) = 1 - x(t) \approx A e^{-\lambda_2 t}.$$

Тогда

$$y(t+T) = A e^{-\lambda_2(t+T)}.$$

Откуда

$$\Delta = \frac{y(t)}{y(t+T)} = \frac{Ae^{-\lambda_2 t}}{Ae^{-\lambda_2(t+T)}} = e^{\lambda_2 T}, \quad \lambda_2 T = \ln \Delta, \quad \lambda_2 = \frac{\ln \Delta}{T}.$$

Далее из  $\ddot{x} = 0$  следует

$$\lambda_1 e^{-\lambda_1 t_n} = \lambda_2 e^{-\lambda_2 t},$$

$$r e^{-r\lambda_2 t} = e^{-\lambda_2 t}, \quad \left( r = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} > 1 \right),$$

$$r = e^{(r-1)\lambda_2 t}, \quad \ln r = (r-1)\lambda_2 t, \quad \frac{1}{r-1} \ln r = \lambda_2 t, \quad \ln r^{\frac{1}{r-1}} = \lambda_2 t.$$

Откуда

$$r^{\frac{1}{r-1}} = e^{\lambda_2 t_n}. \quad (1)$$

Рассмотрим функцию

$$y = r^{\frac{1}{r-1}}.$$

Имеем

$$\ln y = \frac{1}{r-1} \ln r,$$

$$\frac{\dot{y}}{y} = \frac{\frac{1}{r}(r-1) - \ln r}{(r-1)^2} = \frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right) - \ln r}{(r-1)^2}, \quad \dot{y} = r^{\frac{1}{r-1}} \frac{\left(1 - \frac{1}{r}\right) - \ln r}{(r-1)^2}.$$

Отсюда  $\dot{y} < 0$  при  $r > 1$ .

Справедливо

$$\lim_{r \rightarrow 1} r^{\frac{1}{r-1}} = \lim_{\alpha \rightarrow 0} (1 + \alpha)^{\frac{1}{\alpha}} = e,$$

$$\alpha = r - 1.$$

Так что в интервале  $(1, \infty)$   $y = r^{\frac{1}{r-1}}$  не превышает  $e$ . Поэтому уравнение (1) имеет решение  $\tilde{r} > 1$  лишь при  $e^{\lambda_2 t_n} < e$ .

Откуда следует

$$v = \lambda_2 t_n < 1,$$

и  $\lambda_2$  должно удовлетворять условию

$$t_n < \frac{1}{\lambda_2}.$$

При этом  $\lambda_{2\max} = n$  (тогда  $\lambda_1 = \lambda_2$ ,  $n = \omega_0$ ).

Справедливо

$$v = \lambda_2 t_n = \frac{1}{\frac{\lambda_1}{\lambda_2} - 1} \ln \frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \quad v = \frac{\ln r}{r-1}.$$

Из

$$\frac{dv}{dr} = \frac{1 - \frac{1}{r} - \ln r}{(r-1)^2} < 0$$

следует, что  $v = \lambda_2 t_n$  с ростом  $r$  уменьшается.

Отметим,

$$\frac{d y}{d r} = r^{r-1} \frac{d v}{d r}.$$

Вид функции  $r = r(v)$ , полученный аппроксимацией табличных значений решений уравнения (1) при различных  $v = \lambda_2 t_n$  методом наименьших квадратов, приводится на рис.1.

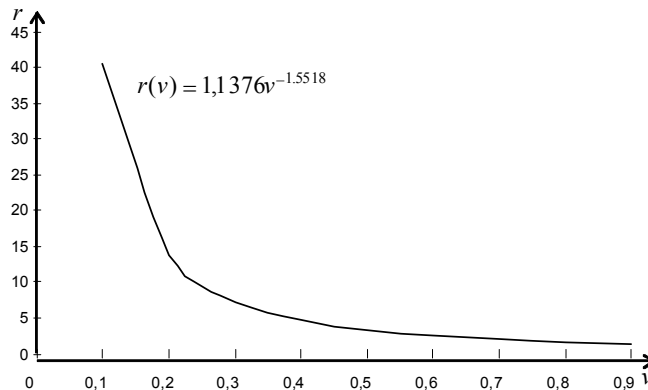


Рис. 1. Вид функции  $r = r(v)$

Определим зависимость корней  $\lambda_1, \lambda_2$  (определяют вид кинетического процесса) от параметров модели  $\omega_0$  и  $n$  (определяют упругие и демпфирующие свойства материала).

Из

$$\lambda_1 = n + \sqrt{n^2 - \omega_0^2} < 2n, \quad \lambda_2 = n - \sqrt{n^2 - \omega_0^2} < n, \quad (n^2 > \omega_0^2)$$

следует

$$\lambda_2 < n < \lambda_1 < 2n.$$

При этом  $\lambda_1 \rightarrow \lambda_2$  при  $n \rightarrow \omega_0$ .

Справедливо

$$\begin{aligned} \frac{\partial \lambda_1}{\partial n} &= 1 + \frac{n}{\sqrt{n^2 - \omega_0^2}} > 0, & \frac{\partial \lambda_2}{\partial n} &= 1 - \frac{n}{\sqrt{n^2 - \omega_0^2}} < 0, \\ \frac{\partial \lambda_1}{\partial \omega_0} &= -\frac{\omega_0}{\sqrt{n^2 - \omega_0^2}} < 0, & \frac{\partial \lambda_2}{\partial \omega_0} &= \frac{\omega_0}{\sqrt{n^2 - \omega_0^2}} > 0, \\ \frac{\partial^2 \lambda_1}{\partial n^2} &= -\frac{\omega_0^2}{\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} < 0, & \frac{\partial^2 \lambda_2}{\partial n^2} &= \frac{\omega_0^2}{\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} > 0, \\ \frac{\partial^2 \lambda_1}{\partial \omega_0^2} &= \frac{\omega_0^2}{\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} > 0, & \frac{\partial^2 \lambda_2}{\partial \omega_0^2} &= -\frac{\omega_0^2}{\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} < 0. \end{aligned}$$

Введем безразмерный коэффициент демпфирования  $\xi = \frac{n}{\omega_0}$ ,  $n \geq \omega_0$ ,  $\xi \geq 1$ . Его величина определяется структурой и физико-химическими свойствами материала.

Имеем

$$\lambda_1 = \left( \xi + \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \cdot \omega_0, \quad \lambda_2 = \left( \xi - \sqrt{\xi^2 - 1} \right) \cdot \omega_0; \quad \lambda_1 - \lambda_2 = 2 \omega_0 \sqrt{\xi^2 - 1};$$



$$r = \frac{\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}}{\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}} = \frac{(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \cdot (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})}{(\xi - \sqrt{\xi^2 - 1}) \cdot (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})} = (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})^2 = \frac{1}{\omega_0^2} \lambda_1^2;$$

$$\lambda_1 = \omega_0 \sqrt{r}; \quad \lambda_1 = \lambda_2 r; \quad \lambda_2 = \frac{1}{\sqrt{r}} \omega_0.$$

Справедливо

$$\begin{aligned} \frac{\partial r}{\partial \xi} &= 2(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \cdot \left(1 + \frac{\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}\right) = 2(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}) \cdot \left(\frac{\sqrt{\xi^2 - 1} + \xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}\right) = \\ &= 2 \frac{(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})^2}{\sqrt{\xi^2 - 1}} = \frac{2}{\sqrt{\xi^2 - 1}} r; \quad \frac{\partial r}{\partial \xi} > 0 \quad \forall \xi \geq 1. \end{aligned}$$

Как видим, с ростом  $\xi$  значение  $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}$  растет.

Из 
$$\frac{\partial^2 r}{\partial \xi^2} = 2 \left[ \frac{\partial r}{\partial \xi} \sqrt{\xi^2 - 1} - r \frac{\xi}{\xi^2 - 1} \right] \cdot \frac{1}{\xi^2 - 1} = \frac{2r}{\sqrt{(\xi^2 - 1)^3}} (2\sqrt{\xi^2 - 1} - \xi);$$

$$\frac{d^2 r}{d \xi^2} = 0;$$

получим

$$\xi = 2\sqrt{\xi^2 - 1}; \quad 3\xi^2 = 4; \quad \xi = \frac{2}{\sqrt{3}}.$$

Так что функция  $r = r(\xi)$  имеет перегиб в точке с абсциссой  $\xi = \frac{2}{\sqrt{3}}$ , при этом при  $1 \leq \xi \leq \frac{2}{\sqrt{3}}$  функция выпукла, при  $\xi > \frac{2}{\sqrt{3}}$  – вогнута.

Легко заметить, что функция  $r = r(\xi)$  является решением дифференциального уравнения

$$\frac{dr}{d\xi} - \frac{2}{\sqrt{\xi^2 - 1}} \cdot r = 0.$$

Имеем

$$\frac{dr}{r} = 2 \frac{d\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}, \quad \xi \neq 1,$$

откуда

$$\begin{aligned} \ln|r| &= 2 \int \frac{d\xi}{\sqrt{\xi^2 - 1}}, \quad \ln|r| = 2 \ln|\xi + \sqrt{\xi^2 - 1}| - \ln c, \\ r &= c(\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})^2. \end{aligned}$$

При начальном условии  $r(\xi_0) = (\xi_0 + \sqrt{\xi_0^2 - 1})^2$  получим:  $c = 1$ , откуда

$$r = (\xi + \sqrt{\xi^2 - 1})^2.$$

Далее рассмотрим *связь между характеристиками кинетических процессов и параметрами модели.*

Изменение структуры и физико-химических свойств материала приводит к изменению расположения точки перегиба. Определим связь между абсциссой точки перегиба и параметрами  $\omega_0$ ,  $n$  модели (или  $\xi = \frac{n}{\omega_0}$  и  $\omega_0$ ). Справедливо

$$t_n = \frac{1}{2\sqrt{n^2 - \omega_0^2}} \ln \frac{n + \sqrt{n^2 - \omega_0^2}}{n - \sqrt{n^2 - \omega_0^2}},$$

откуда

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_n}{\partial \omega_0} &= \frac{1}{2(n^2 - \omega_0^2) \sqrt{\left(\frac{n}{\omega_0}\right)^2 - 1}} \left( \ln \frac{n + \sqrt{n^2 - \omega_0^2}}{n - \sqrt{n^2 - \omega_0^2}} - 2 \frac{n}{\omega_0} \sqrt{\left(\frac{n}{\omega_0}\right)^2 - 1} \right) = \\ &= \frac{1}{2(n^2 - \omega_0^2) \sqrt{\left(\frac{n}{\omega_0}\right)^2 - 1}} \left( \ln r - 2\xi \sqrt{\xi^2 - 1} \right). \end{aligned}$$

В силу  $n^2 > \omega_0^2$  отсюда следует, что знак  $\frac{\partial t_n}{\partial \omega_0}$  определяется знаком функции  $y = \ln r - 2\xi \sqrt{\xi^2 - 1}$ . Так как  $y < 0 \quad \forall \xi > 1$ , то значение  $t_n$  убывает с ростом  $\omega_0$  ( $\omega_0 > 0$ ,  $\xi = \frac{n}{\omega_0} > 1$ ).

Также справедливо

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_n}{\partial n} &= \frac{n}{2\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} \left( \frac{2\sqrt{n^2 - \omega_0^2}}{n} - \ln \frac{n + \sqrt{n^2 - \omega_0^2}}{n - \sqrt{n^2 - \omega_0^2}} \right) = \\ &= \frac{n}{2\sqrt{(n^2 - \omega_0^2)^3}} \left( 2\sqrt{1 - \frac{1}{\xi^2}} - \ln r \right) < 0 \quad \forall \xi > 1 \quad (n > \omega_0). \end{aligned}$$

Отсюда следует, что с ростом  $n$  значение  $t_n$  уменьшается, точка перегиба смещается влево.

Таким образом, для увеличения значения  $t_n$  следует уменьшить  $\omega_0$  и  $n$  (предполагается выполнение условия  $n > \omega_0$ ).

При разработке материалов следует учитывать зависимости  $\lambda_2$  и  $r$  от  $\xi$ ,  $\omega_0$ ,  $n$ .

Имеем

$$r = r(\xi), \quad \xi = \frac{n}{\omega_0} = \xi(\omega_0, n).$$

Справедливо

$$\frac{\partial r}{\partial \omega_0} = \frac{dr}{d\xi} \frac{\partial \xi}{\partial \omega_0} = \frac{dr}{d\xi} \left( -\frac{n}{\omega_0^2} \right).$$

Отсюда с учетом  $\frac{dr}{d\xi} > 0 \quad \forall \xi \geq 1$  следует  $\frac{\partial r}{\partial \omega_0} < 0 \quad \forall \xi \geq 1$ .

Также справедливо

$$\frac{\partial r}{\partial n} = \frac{dr}{d\xi} \frac{\partial \xi}{\partial n} = \frac{dr}{d\xi} \cdot \frac{1}{\omega_0} > 0 \quad \forall \xi \geq 1.$$

Имеем

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 r}{\partial \omega_0^2} &= -\frac{\partial}{\partial \omega_0} \left( \frac{dr}{d\xi} \cdot \frac{n}{\omega_0^2} \right) = - \left[ \frac{\partial}{\partial \omega_0} \left( \frac{dr}{d\xi} \right) \frac{n}{\omega_0^2} + \frac{dr}{d\xi} \left( -\frac{n}{\omega_0^2} \right)'_{\omega_0} \right] = \\ &= - \left( \frac{n}{\omega_0^2} \left( \frac{dr}{d\xi} \right)'_{\omega_0} - \frac{2n}{\omega_0^3} \frac{dr}{d\xi} \right) = \frac{n}{\omega_0^2} \left( \frac{2}{\omega_0^2} \frac{dr}{d\xi} - \left( \frac{dr}{d\xi} \right)'_{\xi} \frac{\partial \xi}{\partial \omega_0} \right) = \\ &= \frac{n}{\omega_0^2} \left( \frac{2}{\omega_0^2} \frac{dr}{d\xi} + \frac{d^2 r}{d\xi^2} \frac{n}{\omega_0^2} \right) = \frac{n}{\omega_0^3} \left( 2 \frac{dr}{d\xi} + \frac{n}{\omega_0} \frac{d^2 r}{d\xi^2} \right) = \\ &= \frac{n}{\omega_0^3} \left[ 2 \frac{2}{\sqrt{\xi^2 - 1}} r + \frac{n}{\omega_0} \frac{2r}{\sqrt{(\xi^2 - 1)^3}} (2\sqrt{\xi^2 - 1} - \xi) \right] = \\ &= \frac{2rn}{\omega_0^3 \sqrt{\xi^2 - 1}} \left[ 2 + \frac{n}{\omega_0 (\xi^2 - 1)} (2\sqrt{\xi^2 - 1} - \xi) \right] > 0 \quad \forall \xi > \frac{2}{\sqrt{3}}; \end{aligned}$$

$$\frac{\partial^2 r}{\partial n^2} = \frac{\partial}{\partial n} \left( \frac{dr}{d\xi} \frac{1}{\omega_0} \right) = \left( \frac{dr}{d\xi} \right)'_n \frac{1}{\omega_0} = \frac{d^2 r}{d\xi^2} \frac{\partial \xi}{\partial n} \frac{1}{\omega_0} = \frac{1}{\omega_0} \frac{d^2 r}{d\xi^2} > 0 \quad \forall \xi > \frac{2}{\sqrt{3}}.$$

Зависимость  $r = r(\omega_0, n)$  представлена на рис. 2.

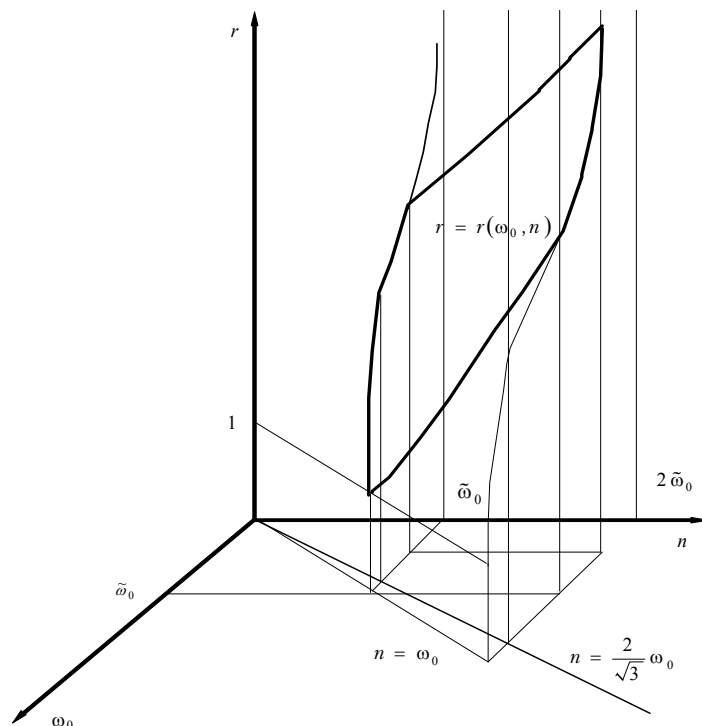


Рис. 2. Зависимость  $r = r(\omega_0, n)$

Случай кратных корней характеристического уравнения требует самостоятельного рассмотрения.

Предложенный подход прошел положительную апробацию при разработке ряда композитов с заданными структурой и свойствами [4...6].

#### Список литературы

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 10. – P. 421–425.
2. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *J. Ponte*. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.
3. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // *J. Ponte*. – Mar. 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
4. Системный анализ в строительном материаловедении: монография / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: МГСУ: Библиотека научных разработок и проектов, 2012. – 432 с.
5. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
6. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.

#### References

1. Garkina, I.A. Modeling of kinetic processes in composite materials / I.A. Garkina // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8. – № 10. – P. 421–425.
2. Garkina, I.A. Parametric identification and optimization of properties of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *J. Ponte*. – Feb. 2017. – Vol. 73. – Issue 2. – P.119–125.
3. Garkina, I.A. Building materials: the modelling, quality functional / I.A. Garkina // *J. Ponte*. – Mar. 2017. – Vol. 73. – Issue 3. – P.111–116.
4. Systems analysis in building materials: monograph / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Moscow State University of Civil Engineering: Library of scientific developments and projects, 2012. – 432 p.
5. Garkina, I.A. Modeling of Building Materials as Complex Systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Y.P. Skachkov // *Key Engineering Materials*. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417.
6. Garkina, I.A. Analytical design of building materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Journal of Basic and Applied Research International*. – 2016. – Vol.18. – Issue 2. – P. 95–99.

УДК 691.168

*Национальный исследовательский  
Мордовский государственный университет  
им. Н.П. Огарёва*

430005, Россия, г. Саранск,  
ул. Большевистская, 68,  
тел.: (8342) 48-25-64

**Ликомаскина Майя Алексеевна,**  
аспирант кафедры «Строительные  
материалы и технологии»  
E-mail: chakichevama@list.ru

**Алнаиф Муртада Садек Ради,**  
магистрант кафедры «Строительные  
материалы и технологии»  
E-mail: murtadha155@yandex.ru

**Сальникова Анжелика Игоревна,**  
аспирант кафедры «Строительные  
материалы и технологии»  
E-mail: anzhelika\_salnikova@mail.ru

*Государственное казенное учреждение  
«Управление автомобильных дорог  
Республики Мордовия»*

Россия, 430005, г. Саранск, улица  
Коммунистическая, д. 33, кор. 3

**Миронов Алексей Александрович,**  
начальник отдела лабораторного контроля  
и контроля качества  
E-mail: Mironov.updor@e-mordovia.ru

*Mordovian State University  
named after N.P. Ogarev*

430005, Republic of Mordovia, Saransk,  
68, Bolshevistskaya St.,  
tel.: (8342) 48-25-64

**Likomaskina Maya Alekseevna,**  
Postgraduate of the department «Building  
materials and technologies»  
E-mail: chakichevama@list.ru

**Alnaif Murtada Sadeq Radi,**  
Postgraduate of the department «Building  
materials and technologies»  
E-mail: murtadha155@yandex.ru

**Salnikova Anzhelika Igorevna,**  
Postgraduate of the department «Building  
materials and technologies»  
E-mail: anzhelika\_salnikova@mail.ru

*State institution «Office of the Republic of  
Mordovia roads»*

430005, Russia, Saransk, 33-3,  
Communist St.

**Mironov Alexey Aleksandrovich,**  
Head of laboratory testing and quality control  
E-mail: Mironov.updor@e-mordovia.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ РАЗЛИЧНОГО ХИМИКО- МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО СОСТАВА НА СВОЙСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

М.А. Ликомаскина, М.С. Алнаиф, А.А. Миронов, А.И. Сальникова

Представлены и проанализированы результаты испытаний составов асфальтобетона с различными материалами, выступающими в роли минерального порошка (доломит, опока, цемент, известь гашеная, порошковые отходы промышленного производства: известняковые отходы сахарного производства, пыль-унос цементных заводов, отходы стекла и бетонный лом). Изучено влияние минеральных материалов различного химического состава на свойства асфальтобетонных и щебёночно-мастичных смесей. В результате исследований установлено, что химический состав минерального порошка, применяемого для производства асфальтобетонной смеси, оказывает существенное влияние на физико-механические свойства асфальтобетона. Выявлены составы, обладающие улучшенными физико-механическими свойствами.

*Ключевые слова: асфальтовое вяжущее, минеральный порошок, асфальтобетон, порошковые отходы промышленного производства, химико-минералогический состав, физико-механические свойства*

## RESEARCH OF THE EFFECT OF MINERAL POWDERS WITH DIFFERENT CHEMICAL-MINERALOGICAL COMPOSITIONS ON ASPHALT CONCRETE MIXTURES' PROPERTIES

M.A. Likomaskina, M.S. Alnaif, A.A. Mironov, A.I. Salnikova

The results of testing asphalt compositions with different materials acting as a mineral powder such as dolomite, flaming marl, cement, hydrated lime, powdered waste of industrial production: limestone waste of sugar production, dust cement, concrete scrap are represented and analyzed. The influence mineral materials of different chemical composition on the properties of asphalt, glass waste and crushed stone-mastic compounds is researched. It is found that chemical composition of mineral powder used for the production of asphalt mixture has a significant effect on physical and mechanical properties of asphalt concrete. Compositions with improved physical and mechanical are detected.

*Keywords: asphalt astringent, mineral powder, asphalt concrete, powdered waste of industrial production, chemical and mineralogical composition, physical and mechanical properties*

Для дорожной отрасли требуются миллионы тонн минеральных порошков, используемых для создания битумных связующих и асфальтобетонов на их основе, поэтому перед наукой и промышленностью стоят задачи по внедрению новых их видов, так как прочность и долговечность асфальтобетонных покрытий в значительной степени зависят от качества минеральных порошков.

В асфальтобетоне минеральный порошок совместно с битумом образует структурированную дисперсную систему, выполняющую роль вяжущего, и является важнейшим компонентом органоминерального композита, во многом определяющим его физико-механические характеристики. Другое назначение минерального порошка – заполнение мелких пор между более крупными частицами. Таким образом, присутствие необходимого количества минерального порошка способствует повышению плотности минерального остова, а следовательно, и асфальтобетона. При недостаточном количестве минерального порошка возникает необходимость увеличения количества битума для заполнения пор в дорожном органоминеральном композите, а также возрастает вероятность получения некачественного материала. Без минерального порошка асфальтобетон быстро разрушается по причине повышенной пористости [1, 2].

Важнейшей особенностью минерального порошка, обуславливающей его активную структурообразующую роль в асфальтобетоне, является высокоразвитая удельная поверхность. Однако очень высокая дисперсность порошков (неактивированных) часто не реализуется в асфальтобетоне вследствие агрегирования наиболее мелких частиц. Более того, образующиеся агрегаты снижают не только эффективную удельную поверхность порошка, но и плотность, а также коррозионную устойчивость асфальтобетона. Поэтому чрезмерно тонкое измельчение неактивированных порошков нежелательно [2].

Начатые в России в начале XX века профессором П.В. Сахаровым работы по структурообразованию асфальтовых вяжущих, ставшие теоретической основой асфальтобетона, получили развитие в работах М.И. Волкова, И.М. Борща, В.М. Смирнова, П.А. Ребиндера, Н.В. Горельшева, И.А. Рыбьева, В.А. Золотарёва и др. Благодаря их исследованиям в области битумо-минеральных материалов значительно расширена номенклатура производства минеральных порошков за счет применения различного минерального сырья.

Минеральные порошки высокого качества рекомендуется получать путем искусственного помола известняка и доломита. Однако во многих регионах нашей страны отсутствуют месторождения карбонатных пород или испытывается их дефицит. В связи с большими объемами дорожного строительства традиционные известняковые минеральные порошки являются дефицитными материалами. Их используют при производстве асфальтобетонных смесей для покрытий дорог I и II категорий [3-8].

В соответствии с ГОСТ Р 52129–2003 минеральный порошок выпускается двух марок МП-1 и МП-2, причём из карбонатных пород только марка МП-1, которую можно считать качественной, а МП-2 из некарбонатных пород, как заменитель МП-1.

Минеральный порошок марки МП-1 выпускается двух видов: активированный (гидрофобный) и неактивированный (гидрофильный).

Асфальтобетонное покрытие, имеющее в своём составе активированный минеральный порошок, отличается повышенной плотностью, теплостойкостью и прочностью при высоких температурах. Расход битума при использовании активированного порошка может быть снижен по сравнению с неактивированным [9].

Для приготовления асфальтобетонных смесей требуется большое количество природных минеральных материалов, а их месторождения на территории России расположены крайне неравномерно. Применение привозных минеральных материалов значительно повышает стоимость асфальтобетонных смесей [3-8]. Именно поэтому для производства ремонтных асфальтобетонных смесей обычно применяют асфальтобетонные смеси, в которых минеральный порошок заменяется различными отходами дробления каменных материалов. В результате асфальтобетонная смесь может содержать пылевидные частицы с большим содержанием глинистых примесей. Поэтому ведутся активные исследования более дешёвых местных материалов и побочных продуктов промышленности, способных более эффективно заменить известняковые порошки [10].

В связи с вышеизложенным актуальным является проведение исследований и разработка способов применения различных видов материалов, пригодных для использования в качестве минерального порошка в асфальтобетонной смеси, а также побочных продуктов промышленности.

Авторами проводились исследования физико-механических свойств горячего плотного и щебёночно-мастичного асфальтобетона, в составе которых в качестве минерального порошка использовались известняк, доломит, цемент, опока, известь гашеная, порошковые отходы промышленного производства (известняковые отходы сахарного производства, пыль-унос цементных заводов, бетонный лом). Было проанализировано влияние адгезионной добавки «Адгезол № 4» на физико-механические свойства горячего плотного асфальтобетона с различными минеральными порошками в составе.

Для проведения исследований в качестве минерального порошка использовались следующие материалы: известняк, доломит (ООО «Иссинский КСМ»); известняковые отходы сахарного производства (ООО «Ромодановосахар», Республика Мордовия, п. Ромоданово); цемент М400 (ОАО «Мордовцемент», Республика Мордовия, Чамзинский р-он, р.п. Комсомольский); отходы стекла, пыль-унос цементных заводов, бетонный лом (материалы из предприятий Республики Мордовия: ГУП РМ «Лисма», АО «Завод ЖБК-1, «ЕВРОЦЕМЕНТ групп», ЗАО «Рузаевский стекольный завод»); опока Алексеевского месторождения цементного сырья; известь гашеная (ООО «РОСИЗВЕСТЬ», г. Воронеж).

Традиционными и наиболее высококачественными минеральными порошками в мировой практике дорожного строительства признаны карбонатные горные породы (известняки, доломиты и др.), содержащие не более 5 % глины. Распространение карбонатных горных пород в природе ограничено. Перспектива использования таких материалов в технологии асфальтобетона открывается при условии их модифицирования в целях улучшения взаимодействия с битумом [11].

**Известняк** – осадочная горная порода органического, реже хемогенного происхождения, состоящая преимущественно из карбоната кальция ( $\text{CaCO}_3$ ) в виде кристаллов кальцита различного размера.

**Доломит** – минерал класса карбонатов, двойная углекислая соль кальция и магния,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . Осадочная карбонатная горная порода, состоящая на 95 % и более из минерала доломита. Основные примеси – кальцит, ангидрит. Благодаря кубической форме зерен материала измельченный доломит обладает высокой степенью адгезии, что придает готовым смесям высокие технологические параметры [12].

**Известковые отходы сахарного производства.** Обычно большинство сахарных заводов обжигают крупные куски известняка, а мелкофракционные его куски, в зависимости от конструкции печи, невозможно обжигать. Некоторые заводы эти

мелкофракционные куски известняка используют в строительстве после специальной обработки. Фильтрационный осадок, полученный из вакуум-фильтра в зависимости от химического состава, целесообразно использовать в правильном направлении. При применении фильтрационного осадка процесс дробления исключается. Совместное измельчение известняка, глины и корректирующих добавок (например пиритных огарков, содержащих  $Fe_2O_3$ ) обеспечивает тщательное смешение исходных материалов и получение однородной сырьевой смеси [13]. Отходы сахарной промышленности (фильтрационные осадки) по химико-минералогическому составу не уступают природному известняку и пригодны для получения строительных материалов. Высокое содержание в нем  $CaCO_3$  (более 74 %) позволяет применять его как добавку, активизирующую поверхность кислых каменных материалов – щебня и песка [12].

**Пыль-унос цементных заводов.** Изучение физико-механических свойств асфальтовяжущего на пыли-уносе и активированном минеральном порошке показало, что асфальтовяжущее на пыли-уносе незначительно уступает асфальтовяжущему на активированном минеральном порошке, но при этом требуется большая дозировка битума [11].

**Отходы стекла.** Асфальтобетонную смесь, образующуюся после введения измельченных отходов стекла, иногда называют «гласфальт».

В начале 70-х годов прошлого века в США и Канаде был проведен ряд лабораторных и полевых исследований гласфальта. В течение последующих 10 лет к нему не проявлялось значительного интереса, но в настоящее время происходит переоценка перспектив использования гласфальта. Гласфальт следует применять, как правило, в базовом слое, что позволит частично решить потенциальную проблему сцепления шин с покрытием и шелушения в поверхностном слое.

**Бетонный лом** (плиты перекрытий, дорожные плиты, опоры, сваи и др.) получают при сносе зданий и сооружений, строительных работах.

**Опока** представляет собой кремнистую горную породу, состоящую из активного кремнезема и небольшого количества других примесей ( $CaO$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$ ,  $K_2O$ ,  $Fe_2O_3$ ). Опоки имеют несколько разновидностей: кремнеподобная, кремнистая и др. Наиболее распространенным видом опок является кремнистая опока. Кремнистые опоки обычно серого и желтого цвета, свежий излом неровный, без блеска, местами встречаются слабосцементированные гнезда зернистой массы из кварца, глауконита и слюды [12].

**Известь гашеная.** Известь много десятков лет широко применяют во Франции для упрочнения асфальтобетона и повышения его водоустойчивости. Усиливающая способность французской извести по температуре размягчения согласно [14] – около  $40\text{ }^{\circ}C$ , а известняка – всего лишь  $10\text{ }^{\circ}C$ . Это может быть связано с более высокой удельной поверхностью и битумоёмкостью извести – 95 против 45 минерального порошка. Однако введение гашеной извести в асфальтобетонные смеси вместо доли (2-3 %) минерального порошка с целью повышения прочности и водоустойчивости асфальтобетонов (исследования учёных M.Duriez и J. Atgambid, опубликованные в 1959 г.) оказывает отрицательное влияние на трещиностойкость асфальтобетона [4].

Химический состав исследуемых материалов приведён в табл. 1.

Для оценки влияния различных видов минерального порошка были выполнены испытания горячих плотных и щебёночно-мастичных асфальтобетонных смесей. При проведении исследований применялись следующие материалы: крупный заполнитель – щебень гранитный фракции 5-20 мм марки 1200 по ГОСТ 8267–93 с насыпной плотностью  $1,42\text{ г/см}^3$  (ООО «Миньярский карьер», г.Миньяр, Челябинская область); мелкий заполнитель – природный песок карьера Смольный по ГОСТ 8735-88 (песок мелкий I класса) с истинной плотностью  $2,6\text{ г/см}^3$  и насыпной плотностью  $1,28\text{ г/см}^3$  (Ичалковский р-он, п. Смольный); песок из отсевов дробления по ГОСТ 8735–88 (песок крупный II класса) с истинной плотностью  $2,81\text{ г/см}^3$  и насыпной плотностью  $1,67\text{ г/см}^3$  (ООО «Миньярский карьер», г.Миньяр, Челябинская область); битум марки БНД 60/90 по ГОСТ 22245–90 (ООО «ТА БИТУМ» Сызранский НПЗ Самарская группа НПЗ (РОСНЕФТЬ), г. Самара).



## Химический состав материалов, используемых в качестве минерального порошка

| № п/п | Вид минерального порошка                  | Содержание оксидов, в % по массе |                                |                                |         |         |                 |                  |                   |                  |                   |         |                                 |       |
|-------|---|----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|---------|-----------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|---------|---------------------------------|-------|
|       |   | SiO <sub>2</sub>                 | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO     | MgO     | SO <sub>3</sub> | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | TiO <sub>2</sub> | CaCO <sub>3</sub> | BaO     | Fe <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> | П.п.п |
| 1     | Известняк                                 | 0,34                             | 0,05                           | 0,52                           | 54,35   | 0,65    | 0,05            | 0,04             | 0,05              | ·                | ·                 | ·       | ·                               |       |
| 2     | Доломит                                   | 1,65                             | 0,37                           | 0,35                           | 30,20   | 20,5    | 0,26            | 0,13             | 0,05              | 0,05             | 46,39             | ·       | 0,05                            |       |
| 3     | Известковые отходы сахарного производства | 2 – 2,4                          |                                |                                |         |         |                 |                  |                   |                  | 75-78             | ·       | ·                               | ·     |
| 4     | Пыль-унос цементных заводов               | 22,02                            | 4,1                            | 4,35                           | 60,05   | 5,58    | 2,46            | 0,07             | 0,04              | 0,08             | ·                 | ·       | ·                               |       |
| 5     | Отходы производства стекла                | 68,75-72,90                      | 1,0-1,5                        | -                              | 5,0-6,0 | 3,2-3,8 | -               | 1,2-3,8          | 11,9-16,7         | ·                | ·                 | 2,2-5,5 | 0,1-0,12                        |       |
| 6     | Бетонный лом                              | 64,76                            | 9,2                            | 5,56                           | 4,54    | 14,24   | 1,51            | 0,07             | ·                 | ·                | ·                 | ·       | ·                               |       |
| 7     | Опока                                     | 76,88                            | 9,45                           | 3,69                           | 1,87    | 1,4     | 0,2             | ·                | ·                 | ·                | ·                 | ·       | ·                               |       |
| 8     | Известь гашеная                           | 2,72                             | 0,64                           | 0,33                           | 92,5    | 0,26    | 0,07            | 0,07             | ·                 | ·                | ·                 | ·       | ·                               |       |

В качестве адгезионной добавки для горячего плотного асфальтобетона применялась битумная присадка «Адгезол № 4» (ООО «Базис», г. Казань), которая изготавливается в соответствии с ТУ 0257-001-99907291-2005. Введение битумной присадки «Адгезол № 4» повышает адгезионные свойства исходного битума и в его составе длительное время сохраняет свои активные свойства. В ЦМА10 вводилась специальная добавка «ВИАТОП», которая представляет собой гранулированные волокна целлюлозы, смешанные с битумом. Процентное соотношение равно 66/34 %. Добавление её в ЦМА способствует равномерному распределению битума по поверхности щебня.

В основу исследований легло два типа асфальтобетона: горячая плотная асфальтобетонная смесь типа В марки III и щебёночно-мастичный асфальтобетон ЦМА10, которые часто используются при строительстве дорог и улиц с высокой интенсивностью движения. Состав компонентов подбирался в соответствии с ГОСТ 9128–97 и ГОСТ 31015–2002 соответственно.

Содержание компонентов в составах приведено в табл. 2.

Составы горячих плотных и щебёночно-мастичных асфальтобетонов

| Тип асфальтобетона | № состава | Содержание составляющих в составах, масс, % |                 |                 |           |         |   |                             |                            |              |       |                 |                        |                        |                  |
|--------------------|-----------|---|-----------------|-----------------|-----------|---------|---|-----------------------------|----------------------------|--------------|-------|-----------------|------------------------|------------------------|------------------|
|                    |           | Щебень фр. 3-10 мм                          | Отсев дробления | Природный песок | Известняк | Доломит | Известняковые отходы сахарного производства | Пыль-унос цементных заводов | Отходы производства стекла | Бетонный лом | Опока | Известь гашеная | БНД 60/90, сверх 100 % | Адгезол №4 (в вяжущем) | ВИАГОП (в смеси) |
| В                  | 1         | 33  | 36              | 22              | 9         | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 2         | 33  | 36              | 22              | -         | 9       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 3         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | 9   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 4         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | 9                           | -                          | -            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 5         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | 9                          | -            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 6         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | 9            | -     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 7         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | -            | 9     | -               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 8         | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | 9               | 7                      | -                      | -                |
|                    | 9         | 33  | 36              | 22              | 9         | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 10        | 33  | 36              | 22              | -         | 9       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 11        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | 9   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 12        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | 9                           | -                          | -            | -     | -               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 13        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | -            | 9     | -               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 14        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | 9               | 6                      | -                      | -                |
|                    | 15        | 33  | 36              | 22              | 9         | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 16        | 33  | 36              | 22              | -         | 9       | -   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 17        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | 9   | -                           | -                          | -            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 18        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | 9                           | -                          | -            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 19        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | 9                          | -            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 20        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | 9            | -     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
|                    | 21        | 33  | 36              | 22              | -         | -       | -   | -                           | -                          | -            | 9     | -               | 6,5                    | 0,5                    | -                |
| ЩМА10              | 22        | 65  | 23              | -               | 12        | -       | -   | -                           | -                          | -            | -     | 6,5             | -                      | 0,4                    |                  |
|                    | 23        | 65  | 23              | -               | -         | -       | 12  | -                           | -                          | -            | -     | 6,5             | -                      | 0,4                    |                  |
|                    | 24        | 65  | 23              | -               | -         | -       | 12  | -                           | -                          | -            | -     | 6               | -                      | 0,4                    |                  |

Результаты испытаний представлены в табл. 3-5.

Т а б л и ц а 3

Физико-механические свойства горячей плотной асфальтобетонной смеси типа В с содержанием битума в количестве 7 %

| № п/п | Наименование показателя                                     | Результаты испытаний для составов |      |       |      |      |      |       |       | Требования ГОСТ 9128–2013 (типа В, марки III) |
|-------|---|-----------------------------------|------|-------|------|------|------|-------|-------|---|
|       |   | 1                                 | 2    | 3     | 4    | 5    | 6    | 7     | 8     |   |
| 1     | Средняя плотность уплотненного материала, г/см <sup>3</sup> | 2,40                              | 2,39 | 2,38  | 2,41 | 2,43 | 2,37 | 2,40  | 2,55  | Не нормируется                                |
| 2     | Водонасыщение образцов, % по объему                         | 0,6                               | 0,1  | 0,4   | 0,7  | 0,1  | 1,2  | 0,4   | 0,01  | 1,5 – 4,0                                     |
| 3     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 50°С       | 1,30                              | 1,65 | 1,53  | 1,27 | 0,94 | 1,24 | 2,04  | 1,35  | 1,1   |
| 4     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 20°С       | 4,87                              | 5,53 | 6,6   | 4,03 | 4,71 | 4,76 | 4,81  | 5,94  | 2,0   |
| 5     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 0 °С       | 11,13                             | 8,06 | 10,74 | 6,12 | 6,48 | 8,0  | 15,41 | 10,04 | 12,0  |
| 6     | Коэффициент водостойкости                                   | 1,18                              | 0,78 | 0,93  | 0,81 | 0,79 | 0,8  | 1,35  | 0,95  | 0,75  |

В результате физико-механических испытаний асфальтобетонной смеси типа В с содержанием битума в количестве 7 % (см. табл. 3) установлено, что при использовании в качестве минерального порошка опоки (состав 7) происходит существенное улучшение всех показателей физико-механических свойств: водонасыщение понижается на 73-90 %; предел прочности на сжатие при 50 °С, 20 °С и 0 °С повышается на 85 %, в 2,4 раза и на 28 % соответственно; коэффициент водостойкости увеличивается на 80 %.

Введение в качестве минерального порошка известковых отходов сахарного производства (состав 3) значительно повышает предел прочности на сжатие при 50 °С и 20 °С – на 39 % и в 3,3 раза соответственно; водонасыщение понижается на 73-90 %. Несколько снижаются значения показателя предела прочности на сжатие при 0 °С (на 11 %).

При введении извести гашеной (состав 8) значительно понижается водонасыщение, благодаря чему повышаются прочностные характеристики асфальтобетона на его основе: предел прочности на сжатие при 50 °С, 20 °С и 0 °С – на 22 %, в 3 раза соответственно; коэффициент водостойкости – на 27 %. Предел прочности на сжатие при 0 °С уменьшился на 20 %.

Если в состав асфальтобетона в качестве минерального порошка ввести известняк, доломит и бетонный лом (составы 1, 2, 6), происходит повышение ряда показателей: предел прочности на сжатие при 50 °С – на 18 %, 50 % и 13 %; при 20 °С – в 2,4; 2,8 и 2,4 раза; коэффициент водостойкости – на 57 %, 4 % и 7 % соответственно. Показатель предела прочности на сжатие при 0 °С уменьшился на 9 %, 33 % и 33 %.

При использовании в качестве минерального порошка цемента (состав 4) существенно снижается (в 2 раза) показатель предела прочности на сжатие при 0 °С. Остальные показатели физико-механических свойств несколько улучшаются: водонасыщение понижается на 53-83 %; предел прочности на сжатие при 50 °С, 20 °С повышается на 15 %, в 2 раза соответственно; коэффициент водостойкости увеличивается на 54 % (табл.3).

Введение в асфальтобетон отходов производства стекла (состав 5) снижает показатель предела прочности на сжатие при 50 °С и при 0 °С – на 15 % и 46 % соответственно. При этом водонасыщение понижается на 93-150 %; предел прочности на сжатие при 20 °С повышается в 2 раза; коэффициент водостойкости увеличивается на 5 %.

Т а б л и ц а 4

Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси типа В  
с содержанием битума в количестве 6 %

| № п/п | Наименование показателя                                     | Результаты испытаний для составов |       |       |      |      |       | Требования ГОСТ 9128–2013 (типа В, марки III) |
|-------|---|-----------------------------------|-------|-------|------|------|-------|---|
|       |   | 9                                 | 10    | 11    | 12   | 13   | 14    |   |
| 1     | Средняя плотность уплотненного материала, г/см <sup>3</sup> | 2,33                              | 2,44  | 2,46  | 2,45 | 2,37 | 2,31  | Не нормируется                                |
| 2     | Водонасыщение образцов, % по объему                         | 5,5                               | 3,3   | 3,3   | 1,4  | 3,9  | 7,1   | 1,5 – 4,0                                     |
| 3     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 50 °С      | 1,73                              | 1,73  | 2,72  | 1,86 | 2,86 | 2,35  | 1,1   |
| 4     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 20 °С      | 6,62                              | 5,92  | 4,08  | 5,88 | 3,25 | 8,45  | 2,0   |
| 5     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 0 °С       | 13,02                             | 13,96 | 12,41 | 7,16 | 6,02 | 15,24 | 12,0  |
| 6     | Коэффициент водостойкости                                   | 0,61                              | 0,84  | 1,4   | 1,17 | 2,26 | 0,44  | 0,75  |

В результате физико-механических испытаний горячей плотной асфальтобетонной смеси типа В с содержанием битума в количестве 6 % (см. табл. 4) установлено, что при введении в состав асфальтобетона доломита (состав 10) и известняковых отходов сахарного производства (состав 11) улучшаются все показатели физико-механических свойств. Понижается водонасыщение в 0,8-2,2 раза, благодаря чему происходит повышение плотности и всех прочностных характеристик асфальтобетона на его основе: при 50 °С – на 57 % и 147 %; при 20 °С – в 3 и 2 раза; при 0 °С – на 16 % и 3 % соответственно. Коэффициент водостойкости повышается на 12 % и 87 %.

Если в состав асфальтобетона в качестве минерального порошка вводить цемент (состав 12) и опоку (состав 13), повышаются следующие показатели: предел прочности на сжатие при 50 °С – на 69 % и в 2,6 раза; при 20 °С – в 3 и 1,6 раза; коэффициент водостойкости – на 56 % и в 3 раза соответственно. Показатель предела прочности на сжатие при 0 °С снижается на 40 % и 50 % соответственно.

Введение в асфальтобетон извести гашеной (состав 14) приводит к значительному повышению водонасыщения (в 1,8-4,7 раза) и снижению коэффициента водостойкости на 41 %. При этом повышаются прочностные характеристики асфальтобетона на его основе: при 50 °С, 20 °С и 0 °С – в 2, 4 и 1,3 раза соответственно.

С введением известняка (состав 9) в асфальтобетонную смесь происходит существенное повышение водонасыщения (в 1,4-3,6 раза) и некоторое снижение коэффициента водостойкости (на 17 %). При этом возрастают прочностные характеристики асфальтобетона на его основе: при 50 °С, 20 °С и 0 °С – на 57 %, в 3,3 раза и на 9 % соответственно.

Т а б л и ц а 5

Физико-механические свойства асфальтобетонной смеси типа В с адгезионной добавкой «Адгезол №4»

| № п/п | Наименование показателя                                     | Результаты испытаний для составов |      |      |      |      |      |      | Требования ГОСТ 9128–2013 (типа В, марки III) |
|-------|---|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|---|
|       |   | 15                                | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   |   |
| 1     | Средняя плотность уплотненного материала, г/см <sup>3</sup> | 2,44                              | 2,40 | 2,40 | 2,46 | 2,42 | 2,39 | 2,35 | Не нормируется                                |
| 2     | Водонасыщение образцов, % по объему                         | 0,9                               | 0,2  | 0,3  | 0,2  | 0,2  | 0,4  | 0,8  | 1,5 – 4,0                                     |
| 3     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 50 °С      | 1,81                              | 1,45 | 1,27 | 1,39 | 1,1  | 1,8  | 1,82 | 1,1   |
| 4     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 20 °С      | 4,67                              | 4,77 | 6,25 | 4,97 | 5,2  | 6,61 | 5,64 | 2,0   |
| 5     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 0 °С       | 10,86                             | 8,79 | 7,36 | 11,9 | 11,3 | 12,1 | 15,1 | 12,0  |
| 6     | Коэффициент водостойкости                                   | 1,24                              | 0,83 | 0,88 | 0,66 | 0,99 | 0,95 | 1,12 | 0,75  |

Анализ результатов испытаний асфальтобетонной смеси типа В с содержанием битума в количестве 6,5 % и адгезионной добавки «Адгезол № 4» в количестве 5 % (см. табл. 5) показал, что свойства асфальтобетона при введении в его состав испытываемых минеральных порошков в целом соответствуют требованиям ГОСТ 9128–2013 для типа В, марки III, за исключением некоторых показателей предела прочности на сжатие при 0 °С и коэффициента водостойкости.

При введении в состав асфальтобетона в качестве минерального порошка таких материалов, как бетонный лом (состав 20) и опока (состав 21), происходит улучшение

всех показателей физико-механических свойств. Понижается водонасыщение на 73-90 % и 46-80 % соответственно, благодаря чему повышаются все прочностные характеристики асфальтобетона на его основе: при 50 °С – на 64 % и 65 %; при 20 °С – в 3,3 и 2,8 раза; при 0 °С – на 10 % и 13 % соответственно. Коэффициент водостойкости возрос на 26 % и 49 %.

Если в состав асфальтобетона в качестве минерального порошка вводить цемент (состав 18), происходит повышение ряда показателей: предел прочности на сжатие при 50 °С – на 26 %; при 20 °С – в 2,5 раза. Водонасыщение понизилось на 87-95 %, предел прочности на сжатие при 0 °С и коэффициент водостойкости – на 10 % и 12 % соответственно.

Известняк, доломит, известняковые отходы сахарного производства и отходов производства стекла (составы 15, 16, 17, 19), входящие в состав асфальтобетонных составов в качестве минерального порошка, имеют сходство физико-механических показателей. Так, улучшаются все показатели физико-механических свойств. Понижается водонасыщение у всех исследуемых составов, благодаря чему происходит повышение всех прочностных характеристик асфальтобетона на их основе: при 50 °С – на 65 %, 32 %, 15 %; при 20 °С – в 2,3, 2,4, 3,1 и 2,6 раза; а также коэффициента водостойкости – на 65 %, 11 %, 17 % и 6 % соответственно. Снизился показатель предела прочности на сжатие при 0 °С – на 10 %, 27 %, 39 % и 6 % соответственно.

Введение в асфальтобетонную смесь (составы № 1-8) адгезионной добавки «Адгезол № 4» (см. табл.3) не приводит к улучшению физико-механических свойств у составов № 15-21 (см. табл.5).

При анализе результатов испытаний щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМА10 (табл. 6) выявлено, что физико-механические свойства асфальтобетона при введении в его состав в качестве минерального порошка известняка и известняковых отходов сахарного производства полностью соответствуют требованиям ГОСТ 31015–2002 для ЦМА10.

Т а б л и ц а 6

Физико-механические свойства щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси ЦМА10

| № п/п | Наименование показателя                                     | Результаты испытаний для составов |       |       | Требования ГОСТ 31015-2002 (ЦМА10) |
|-------|---|-----------------------------------|-------|-------|------------------------------------|
|       |   | 22                                | 23    | 24    |                                    |
| 1     | Средняя плотность уплотненного материала, г/см <sup>3</sup> | 2,54                              | 2,53  | 2,54  | Не нормируется                     |
| 2     | Водонасыщение образцов, % по объему                         | 0,5                               | 1,4   | 1,5   | 1,0-4,0                            |
| 3     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 50°С       | 2,26                              | 1,79  | 1,89  | 0,65                               |
| 4     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 20°С       | 7,55                              | 5,84  | 7,98  | 2,2                                |
| 5     | Предел прочности на сжатие, МПа, при температуре 0 °С       | 11,34                             | 13,38 | 13,36 | -                                  |
| 6     | Коэффициент водостойкости                                   | 0,83                              | 0,96  | 0,87  | -                                  |

Введение известняка (состав 22) и известняковых отходов сахарного производства (состав 23) в ЦМА10 в качестве минерального порошка с содержанием битума в количестве 6,5 % способствует понижению водонасыщения образцов на 50-88 % и 40-65 % соответственно; повышению предела прочности на сжатие при 50 °С – в 3,5 и 2,8 раза, при 20 °С – в 3,4 и 2,7 раза соответственно.

При наличии в составе ЦМА10 известняковых отходов сахарного производства в качестве минерального порошка с содержанием битума в количестве 6,0 % (состав 24) происходит повышение предела прочности на сжатие при 50 °С – в 2,9 раза; при 20 °С – в 3,6 раза; при этом водонасыщение понижается на 50-63 % (см. табл. 6).

В результате проведенных исследований установлено, что химический состав минерального порошка, применяемого для производства горячих плотных асфальтобетонных и щебёночно-мастичных смесей, оказывает существенное влияние на их физико-механические свойства. Несоответствие показателя «предел прочности на сжатие при температуре 0°С» для смеси с минеральным порошком для некоторых материалов объясняется некоторым несоответствием его гранулометрического состава, так как при использовании минерального порошка после отделения фракций крупнее 0,071 мм данный показатель соответствует требованиям норм. Несоответствие исходного минерального порошка по гранулометрическому составу может быть исправлено технологическими приемами.

Таким образом, исследованные материалы могут использоваться в качестве минерального порошка в горячих плотных асфальтобетонных и щебёночно-мастичных смесях при условиях соблюдения гранулометрического состава. Рекомендуемая область применения рассмотренных в работе минеральных порошков соответствует марке МП-2 по ГОСТ Р 52129–2003 (прил. А): смеси асфальтобетонные по ГОСТ 9128–2009 марок II и III; смеси органоминеральные по ГОСТ 30491–2012.

### Список литературы

1. Афиногенов, О.П. Применение в асфальтобетонных смесях минерального порошка из перлита Хасынского месторождения / О.П. Афиногенов, С.С. Вайдуров // Молодой ученый. – 2014. – №2. – С. 104–107.
2. Буртан, С.Т. Принципы управления качеством асфальтобетона на основе оптимизации состава и сочетания компонентов битумо-минеральных смесей / С.Т. Буртан, С.К. Мустафин // Автомобильные дороги. – 2013. – № 7. – С. 52–54.
3. Босхолов, К.А. Асфальтобетон с применением активированных кремнеземсодержащих минеральных порошков: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.А. Босхолов. – Улан-Удэ, 2007. – 22 с.
4. Золотарёв, В.А. Асфальтобетоны без волокнистого адсорбента / В.А. Золотарёв, В.П. Корюк, С.В. Ефремов, М.А. Свинарёв // Автомобильные дороги. – 2016. – № 9. – С. 76–83.
5. Надежко, А.А. Дорожная наука: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / А.П. Васильев [и др.]; под ред. канд. техн. наук А.А. Надежко. – М.: ФГУП «ИНФОРМАВТОРДОР», 2006. Т.IV. – 393 с.
6. Быстров, Н.В. Дорожно-строительные материалы: Справочная энциклопедия дорожника (СЭД) / Н.В.Быстров [и др.]; под ред. канд. техн. наук Н.В. Быстрова. – М.: ФГБУП «ИНФОРМАВТОРДОР», 2005. Т.III. – 465 с.
7. Ерофеев, В.Т. Дорожные битумо-минеральные материалы на основе модифицированных битумов (технология, свойства, долговечность): монография / В.Т. Ерофеев [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2009. – 276 с.
8. Ликомаскина, М.А. Оценка долговечности асфальтобетонов при испытаниях в климатических условиях с переменной влажностью, ультрафиолетовым облучением и агрессивной морской водой / М.А. Ликомаскина, В.Т. Ерофеев // Вестник МГСУ. – 2016. – № 6. – С. 74–90.
9. Ижорин, Г.Л. Порошок порошку рознь / Г.Л. Ижорин // Автомобильные дороги. – 2013. – № 5. – С. 62–63.
10. Киселёв, В.П. Органический компонент асфальтобетонных смесей / В.П. Киселёв, Н.В. Кеменев, А.А. Ефремов, М.Б. Бугаенко // Вестник ТГАСУ. – 2012. – № 3. – С. 207–218.
11. Хитров, К.А. Исследование возможности применения пыли-уноса асфальтосмесительных установок взамен традиционных порошков для строительства лесовозных автодорог: дис. ... канд. техн. наук / К.А. Хитров. – СПб.: Санкт-Петерб. госуд. лесотехн. академия, 2010. – С. 18.

12. Браун, Е.Р. Горячие асфальтобетонные смеси, материалы, подбор составов и строительство автомобильных дорог в Северной Америке / Е.Р. Браун, В.С. Бочаров. – НАПА, 2009 – 411 с.
13. Чериков, С.Т. Использование известковых отходов сахарного производства в качестве минерального порошка при изготовлении асфальтобетонных смесей / С.Т. Чериков, Р.С. Эрбаева, М.Б. Баткибекова; КГТУ им. И.Раззакова. – 2012. – №26. – С.226–230.
14. La Chauxhydratee/ Revue critique de la literature. – EuLA – European Lime Association. – Brussels. – 2012. – 78 p.

## References

1. Afinogenov, O.P. the Use of asphaltic concrete mixtures of mineral dust from the perlite Khasynskiy field / P.O. Afinogenov, S.T. Vajdorov // Young scientist. – 2014. – No. 2. – P. 104–107.
2. Burtan, S.T. Principles of quality management of asphalt concrete based on the optimization of the composition and combination of components bitumomineralnykh composites / S.T. Burtan, S.K. Mustafin // Highways. – 2013. – No. 7. – P. 52–54.
3. Boskholov, K.A. Asphalt concrete with the use of activated silica-containing mineral powders: author. dis. kand. tech. Sciences / K.A. Boskholov. – Ulan-Ude, 2007. – 22 p.
4. Zolotarev, V.A. Asphalt concrete without fiber adsorbent / V.A. Zolotarev, V.P. Koruk, S.V. Efremov, M.A. Svinarev // Highways. – 2016. No. 9. – P. 76–83.
5. Nadesco, A.A. Road science: Reference encyclopedia of road Builder (SED) / A.P. Vasilyev [et al.]; under the editorship of Cand. of Sciences A.A. Nadesco. – M.: FSUE "INFORMAVTODOR", 2006. T. IV. – P. 393.
6. Bystrov, N.V. Road construction materials: Reference encyclopedia of road Builder (DMS) / N.In.Bystrov [et al.]; under the editorship of Cand. of Sciences N.V. Bystrov. – M.: FGUP "INFORMAVTODOR", 2005. T. III. – 465 p.
7. Erofeev, V.T. Road bitumomineralnykh materials based on modified bitumen (technology, properties, durability): monograph / V.T. Erofeev [et al.]. – Saransk: Publishing house Mordov. University press, 2009. – 276 p.
8. Lichmaschine, M.A. Assessing the durability of asphalt when tested in climates with variable humidity, ultraviolet radiation and corrosive sea-water / M.A. Lukomskiy, V.T. Yerofeyev // Vestnik MGSU. – 2016. – No. 6. – P. 74–90.
9. Egorin, G. L. Powder powder discord / G. L. Yarin // Highways. – 2013. – No. 5. – P. 62–63.
10. Kiselev, V.P. Organic component of asphalt mixtures / V.P. Kiselev, N.V. Kamenev, A.A. Efremov, M.B. Bugaenko // Bulletin of the trace. – 2012. – No. 3. – P. 207–218.
11. Khitrov, K.A. Study of possible use of dust-ash asphalt-mixing plants instead of the traditional powders for construction of logging roads Diss. kand. technical Sciences / K.A. Khitrov. – SPb.: Sankt-Peterb. GOV't. isotechnic. Academy, 2010. – P. 18.
12. Brown, E.R., Hot mix asphalt, materials selection, and construction of roads in North America / by E.R. Brown, V.S. Bocharov. – NAPA, 2009. – 411 p.
13. Cherikov, S.T. Use of limestone wastes of sugar production as a mineral powder in the manufacture of asphalt mixtures / S.T. Cherikov, R.S. Erbaeva, M.B. Batkibekova; KSTU im. I. Razzakov. – 2012. – No. 26. – P. 226–230.
14. La Chauxhydratee/ Revue critique de la literature. – EuLA – European Lime Association. – Brussels. – 2012. – 78p.

# СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

## BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 69.059.4

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Шеин Александр Иванович,**  
доктор технических наук, профессор  
E-mail: shein-ai@yandex.ru

**Зернов Владимир Викторович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика»

**Зайцев Михаил Борисович,**  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Механика»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Shein Aleksandr Ivanovich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
E-mail: shein-ai@yandex.ru

**Zernov Vladimir Victorovich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department "Mechanics"

**Zaytsev Mihail Borisovich,**  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department "Mechanics"

### ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНОГО И ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО ОТКАЗОВ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев

Приводятся результаты анализа причин снижения долговечности строительных конструкций и их элементов. На этапе проектирования зданий и сооружений для обеспечения требуемой долговечности учитываются условия эксплуатации, влияние окружающей среды, свойства строительных материалов, возможные средства их защиты от воздействия окружающей среды, а также возможность деградации свойств во время эксплуатации объекта. В соответствии с этими требованиями назначаются сечения элементов строительных конструкций. На практике условия эксплуатации объектов отличаются от условий, предусмотренных в проекте, и строительные конструкции приходят в ограниченно работоспособное или аварийное техническое состояние, а установленный нормами проектирования расчётный срок службы объекта уменьшается (например, вследствие нарушения или отсутствия нормальной вентиляции, происходит интенсивная коррозия бетона и арматуры). Кроме того, сокращение срока службы происходит из-за непродуманных конструктивных решений на стадии строительства или усиления элементов конструкций.

*Ключевые слова: строительные конструкции, проектирование, обследование, мониторинг, деградация свойств материалов, долговечность, техническое состояние*



## INFLUENCE OF CONSTRUCTIVE AND OPERATIONAL FAILURES ON THE DURABILITY OF BUILDING STRUCTURES

A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaytsev

Analysis of reasons of declining durability of building structures and their elements is given. At the stage of designing buildings and structures to provide the required durability it is necessary to take into account operating conditions, environmental influences, the properties of construction materials, possible means to protect them from the environment influence, as well as the possibility of properties degradation during the facility maintenance. In accordance with these requirements cross section of construction elements is determined. In practice, the conditions of maintenance the facilities are different from the conditions stipulated in the project, and the structures come in limited working or emergency condition, and design standards term of service is reduced (for example, due to violations or lack of proper ventilation, an intensive corrosion of concrete and reinforcement) takes place. In addition, the service life reduction is due to wrong constructive solutions at construction or strengthening structural elements.

*Keywords: building structures, designing, inspection, monitoring, degradation of material properties, durability and technical condition*

**Введение.** Долговечность – это способность строительного объекта сохранять прочностные, физические и другие свойства, устанавливаемые при проектировании и обеспечивающие его нормальную эксплуатацию в течение расчётного срока службы. При проектировании строительного объекта для обеспечения требуемой долговечности учитываются условия эксплуатации по назначению, расчётное влияние окружающей среды, свойства применяемых материалов, средства их защиты от негативных воздействий среды, а также возможность деградации их свойств. Под деградацией свойств строительных конструкций будем понимать постепенное понижение уровня эксплуатационных характеристик материалов конструкций относительно их проектных значений [1]. Для обеспечения расчётного срока службы необходимо вовремя проводить техническое обслуживание и текущий ремонт, поддерживать необходимую степень надёжности конструкций в соответствии с требованиями нормативных и проектных документов, а также **систематически** проводить техническое обследование. Однако в последнее время обследование технического состояния зданий и сооружений проводят в основном по инициативе собственника объекта [2] в тот момент, когда объект или отдельные строительные конструкции приходят в ограниченно работоспособное или аварийное состояние [7–9].

В [1, табл. 1] приведены рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений. Так, для зданий и сооружений массового строительства в обычных условиях эксплуатации (здания жилищно-гражданского и производственного строительства) рекомендуется примерный срок службы не менее 50 лет, причём при соответствующем обосновании сроки службы отдельных несущих и ограждающих конструкций могут быть приняты отличными от сроков службы сооружения в целом.

Однако на практике нормальная эксплуатация строительного объекта в соответствии с условиями, предусмотренными строительными нормами или заданием на проектирование, включая соответствующее техническое обслуживание, капитальный ремонт и реконструкцию, нарушается и происходит отказ объекта или отдельной строительной конструкции (состояние строительного объекта, при котором не выполняется одно или несколько условий предельных состояний) [1]. Как следствие, срок службы объекта уменьшается из-за возникновения предельного состояния какой-либо строительной конструкции в целом или её отдельного элемента или соединения.

При обследовании и мониторинге зданий и сооружений авторами было установлено, что наиболее часто встречаются **конструктивный отказ** (возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и норм проектирования и конструирования) и **отказ эксплуатационный** (возникший по причине, связанной с нарушением установленных правил и условий эксплуатации) [3, 4, 10, 11]. Поставим задачу

оценить влияние конструктивного и эксплуатационного отказов на долговечность строительных конструкций.

**Анализ результатов нескольких обследований.** При обследовании конструкций покрытия производственных зданий с железобетонными ребристыми плитами одним из основных дефектов оказалась коррозия арматуры и бетона в рёбрах. Причинами коррозии являются повышенная влажность и малая толщина защитного слоя бетона. В некоторых случаях коррозия достигает 100 %, возникает аварийная ситуация (эксплуатационный отказ). Эксплуатационные службы предприятия либо заменяли плиты с дефектными рёбрами, либо усиливали их. Заменяли аварийные плиты, как правило, без остановки производственного процесса. Новые плиты выполняли в основном из стальных элементов, установленных по месту. В качестве продольных рёбер чаще всего использовали швеллеры, а для поперечных – спаренные или одиночные уголки или швеллеры. Полки плит выполняли из стального листа. Соединяли все элементы между собой некачественной точечной сваркой или шурупами. Сверху на плиты укладывали утеплитель и элементы кровли (рис.1).



Рис.1. Неправильная постановка несущих продольных швеллеров

Усиление продольных рёбер в железобетонных плитах также осуществлялось в основном с помощью швеллеров.

В конструкциях покрытия различных зданий были обнаружены конструктивные ошибки в новых и усиленных плитах. Эти ошибки связаны с неправильной постановкой несущих продольных швеллеров и отсутствием связей между плитой и вышележащими элементами покрытия.

Элементы покрытия работают по следующей схеме. Прогонь воспринимают нагрузку от кровли и передают её на стропильные фермы. В общем случае прогоны, расположенные на скате кровли (рис.2), работают на изгиб в двух плоскостях (косой изгиб).

Составляющие нагрузки  $q_x$  и  $q_y$  равны:  $q_x = q \cos \alpha$ ;  $q_y = q \sin \alpha$ . Кроме того, поскольку кровля опирается на верхний пояс прогона из швеллера, от составляющей  $q_y$ , приложенной с плечом  $h/2$  (см. рис. 2), возникает крутящий момент  $M_t$ . Для того чтобы уравновесить этот момент, прогоны с сечением из швеллера следует устанавливать стенкой по направлению ската. В этом случае крутящий момент от составляющей  $q_y$  будет частично уравновешиваться крутящим моментом от составляющей  $q_x$  и воздействием  $M_t$  можно пренебречь.

В новых и усиленных плитах покрытия некоторые продольные рёбра из швеллеров установлены стенкой против направления ската и они не раскреплены в поперечном направлении. В этом случае в них возникают изгибающие моменты в двух плоскостях и значительный крутящий момент. Как результат, впоследствии происходит потеря устойчивости швеллера (конструктивный отказ).

Нарушения норм проектирования и конструирования авторы обнаружили при обследовании одного из районных домов культуры Пензенской области, отдельные строительные конструкции которого находятся в ограниченно работоспособном или аварийном состоянии.

Выявлено массовое интенсивное замачивание стен и плит покрытия и перекрытия стропильной балки из-за разрушения системы водоотвода дождевых и талых вод с кровли. Обследование крыши показало, что проектный внутренний водоток засорен и не работает. Для отвода воды с крыши самопроизвольным образом устроены металлические желоба. Для установки желобов был снят рубероидный ковёр, выдолблены канавки в стяжке и утеплителе с уклоном в сторону наружных стен. Для пропуска желобов в кирпичной кладке парапета вырублены отверстия (рис. 3). Стыки между желобами и кровлей некачественные, с многочисленными разрывами, в которые беспрепятственно проникает вода. На многих участках парапета отсутствует отлив (рис. 4).

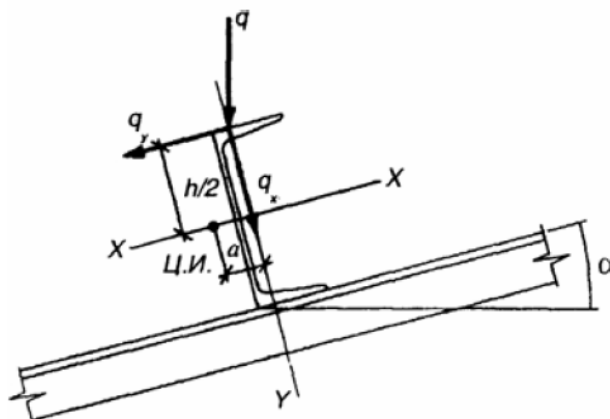


Рис. 2. Расчётная схема прогона



Рис. 3. Некачественный водоотвод



Рис. 4. Отсутствие отлива на крыше

Очаги критических разрушений в кирпичной кладке наружных стен и опорных участков под перемычками, протечек в покрытии находятся как раз под водосточными желобами и в местах дефектной кровли (конструктивный отказ).

В октябре 2016 года авторы обследовали совмещённую односкатную крышу пятиэтажного кирпичного жилого дома в одном из районов Пензенской области [5]. При визуальном осмотре был обнаружен значительный крен (поворот) карнизных железобетонных плит в сторону фасада здания (рис. 5). Под некоторые плиты установлены страховочные кронштейны. Отсутствуют продухи для вентиляции кровли под плитами.

Для выяснения причины крена плит выборочно был вскрыт рубероидный ковер над одной из аварийных карнизных плит и над плитой перекрытия в её средней части примерно в трёх метрах от края карниза (рис. 6, 7).



Рис. 5. Крен карнизных плит



Рис. 6. Шурф у карнизной плиты



Рис. 7. Шурф в средней части кровли

При осмотре шурфов около карнизных плит было установлено, что анкеры полностью разрушены коррозией. От опрокидывания плиты удерживают кронштейны и рубероидный ковер. Вскрытие рубероидного ковра и стяжки в средней части плиты показало, что кровля дома неветилируемая в отличие от проекта. В проекте предусматривалась следующая конструкция кровли: железобетонная плита перекрытия, пароизоляция, утеплитель, железобетонная ребристая плита, опирающаяся на карнизную плиту и обеспечивающая вентиляцию кровли, стяжка и рубероидный ковер. Фактически же железобетонная ребристая плита, опертая нижним краем на карнизную плиту, отсутствует.

Таким образом, на этапе строительства или привязки проект кровли был изменен. Отсутствие верхней ребристой плиты, удерживающей карнизную плиту в проектном положении и обеспечивающую вентиляцию крыши, привело к замачиванию утеплителя водой, которая конденсируется вследствие сезонных изменений температур наружного воздуха в утеплителе в холодную погоду и коррозии закладных деталей. Это привело к аварийному состоянию крыши (конструктивный отказ).

В [6, п.8.23] для многоквартирных жилых домов рекомендуется применение только вентилируемых крыш с устройством сообщающихся с атмосферой вентиляционных продухов в наружных ограждающих конструкциях для удаления паров воды из слоя утеплителя.

Авторами выполнено численное сравнение расходов на периодические обследования и текущий ремонт, а также на обследование и капитальный ремонт. Суммарные расходы при периодическом обследовании и ремонте составили 15-17 % от общих расходов при ликвидации аварийной ситуации. Очевидно, что периодическое обследование (мониторинг) строительных конструкций даже экономически целесообразнее, не говоря уже о возможности травм или жертв из-за их аварийности.

#### **Выводы.**

1. Показано, что частыми причинами возникновения ограниченно работоспособного и аварийного технического состояния строительных конструкций являются принятие необдуманных проектных решений на стадии проектирования или строительства и нарушение условий эксплуатации объектов.

2. Суммарные расходы при периодическом обследовании и ремонте составляют 15-17 % от общих расходов при ликвидации аварийной ситуации.

3. Для обеспечения расчётного срока службы зданий и сооружений следует вовремя проводить периодические технические обследования или вести технический мониторинг и по результатам обследований выполнять текущий ремонт, поддерживая тем самым необходимую степень надёжности конструкций в соответствии с требованиями нормативных и проектных документов.

#### Список литературы

1. ГОСТ 27751–2014. Надёжность строительных конструкций и оснований. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2015.
2. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. – М.: Стандартинформ, 2014.
3. Шеин, А.И. Некоторые причины отказа строительных конструкций / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ». – 2016. – Т. 8, №6. – <http://naukovedenie.ru/PDF/88TVN616.pdf> (доступ свободный)
4. ГОСТ 27.002-2015. Надёжность в технике. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2016.
5. Шеин, А.И. Восстановление работоспособности железобетонных карнизных плит в совмещенных крышах / А.И. Шеин, В.В. Зернов, М.Б. Зайцев // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – №4. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at_download/file)
6. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. СП 23-101-2004. – М., 2004.
7. Зернов, В.В. Способ усиления железобетонной рамы под нагрузкой / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2015. – №1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/view>.
8. Шеин, А.И. Особенности крепления железобетонной диафрагмы жесткости к колонне при реконструкции / А.И. Шеин, С.Ф. Подшивалов // Моделирование и механика конструкций. – 2015. – №2. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/2.12/view>.
9. Зернов, В.В. Поэтапное усиление строительных конструкций надземной части галереи подачи песка и щебня РБУ / В.В. Зернов, М.Б. Зайцев, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – №3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at_download/file).
10. Артюшин, Д.В. Экспериментально-аналитические исследования монолитных узлов сопряжения железобетонных балок / Д.В. Артюшин, В.А. Шумихина, Я.А. Азимова // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – №3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.15/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.15/at_download/file).
11. Береговой, А.М. Моделирование теплоустойчивости наружных ограждений для оценки тепловых потерь здания и микроклимата его помещений / А.М. Береговой, М.А. Дерина // Моделирование и механика конструкций. – 2016. – №3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.16/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.16/at_download/file).

#### References

1. GOST 27751–2014. Reliability of structures and bases. The main provisions. – М.: STANDARTINFORM, 2015.
2. GOST 31937–2011. Buildings and constructions. Rules of inspection and monitoring of the technical condition. – М.: STANDARTINFORM, 2014.

3. Shein, A.I. Some causes of failure of building structures / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Internet-journal «science of SCIENCE». – 2016. – Vol. 8, No. 6. – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/88TVN616.pdf> (free access)
4. GOST 27.002–2015. Reliability in technique. Terms and definitions. – M.: STANDARTINFORM, 2016.
5. Shein, A.I. Recovery of reinforced concrete curtain panels in flat roofs / A.I. Shein, V.V. Zernov, M.B. Zaitsev // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 4. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no4/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/4.16/at_download/file)
6. SP 23-101–2004. Designing of thermal protection of buildings. SP 23-101-2004. – M., 2004.
7. Zernov, V.V. Method of strengthening reinforced concrete frames under load / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, J.A. Azimova // Modeling and mechanics of structures. – 2015. – No. 1. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no1/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/sposob-usileniya-zhelezobetonnoi-ramy-pod-nagruzkoi/view>.
8. Shein, I.A. Features fastening reinforced concrete diaphragm stiffness to the column during reconstruction / I.A. Shein, S.F. Podshivalov // Modeling and mechanics of structures. – 2015. – No. 2. – URL: <http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no2/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/2.12/view>.
9. Zernov, V.V. Gradual strengthening of construction designs of the aerial parts of the gallery supply of sand and gravel RBU / V.V. Zernov, M.B. Zaitsev, J.A. Azimova // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.24/at_download/file).
10. Artushin, D.V. Experimental and analytical studies of monolithic nodes coupling beams in reinforced concrete / D.V. Artushin, V.A. Shumikhina Y.A. Azimova // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.15/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.15/at_download/file).
11. Coast, M.A. Simulation of the thermal resistance of cladding for the assessment of heat losses of the building and the microclimate of its premises / M.A. Coast, M.A. Derina // Modeling and mechanics of structures. – 2016. – No. 3. – URL: [http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.16/at\\_download/file](http://mechanics.pguas.ru/Plone/nomera-zhurnala/no3/stroitelnye-konstrukcii-zdaniya-i-sooruzheniya/3.16/at_download/file).

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Бакушев Сергей Васильевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Механика»  
E-mail: bakuchsv@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Bakushev Sergey Vasilevich,**  
Doctor of Sciences,  
Professor of the department «Mechanics»  
E-mail: bakuchsv@mail.ru

## ОЦЕНКА КОЭФФИЦИЕНТА ПОПЕРЕЧНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ СФЕРИЧЕСКИ-СИММЕТРИЧНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ СПЛОШНЫХ СРЕД

С.В. Бакушев

Рассматриваются вопросы теоретической оценки величины коэффициента поперечной деформации в сплошных средах, находящихся в условиях сферически-симметричного деформирования. В качестве математической модели, описывающей механическое поведение сплошной среды, принята деформационная теория пластичности сыпучей среды Г.А.Гениева в геометрически линейной и геометрически нелинейной постановках. Для построения графика изменения коэффициента поперечной деформации по глубине сжимаемой сферически-симметричной толщи массива была решена двухточечная краевая задача определения напряжённо-деформированного состояния в сплошной среде. Решение краевой задачи выполнено методом конечных разностей на кусочно-неравномерной сетке. Показано, что величина коэффициента поперечной деформации существенно зависит как от механических характеристик материала полупространства, уровня развития напряжённо-деформированного состояния в рассматриваемой точке, так и от вида рассматриваемой математической модели сплошной среды (геометрически линейной или геометрически нелинейной) и может превышать предельное значение для линейно-упругого тела, равное 0,5.

*Ключевые слова: сплошная среда, сферически-симметричная деформация, коэффициент поперечной деформации, геометрическая и физическая нелинейность*

## EVALUATION OF THE COEFFICIENT OF TRANSVERSE DEFORMATION AT SPHERICAL SYMMETRIC DEFORMATION OF CONTINUOUS MEDIUM

S.V. Bakushev

The article is devoted to the question of theoretical estimation of the value of the coefficient of transverse deformation in continuous medium under the conditions of spherical symmetric deformation. As a mathematical model describing mechanical behavior of a continuous medium a deformation theory of plasticity of loose medium of G.A. Geniev in a geometrically linear and geometrically nonlinear statement is adopted. To construct a graph of change in the coefficient of transverse deformation along the depth of spherical symmetric compressed width of the massif, a two-point boundary-value problem of determining the stress-strain state in a continuous medium was solved. The solution of the boundary value problem is carried out by the method of finite differences on a sectionally nonuniform grid. It is shown that the value of the coefficient of transverse strain essentially depends both on the mechanical characteristics of the material of the half-space, the level of development of the stress-strain state at considering point, and on the type of the mathematical model of the continuous medium (geometrically linear or geometrically nonlinear) and may exceed the limit value for linear-elastic body, equal to 0,5.

*Keywords: solid array, spherical symmetric deformation, coefficient of transverse deformation, geometrical and physical nonlinearity*



**Введение.** Коэффициент поперечной деформации  $\mu$  для сплошных упругих тел является величиной постоянной и принимает значение в пределах  $0 < \mu \leq 0,5$ . Если механическое поведение сплошного тела описывается математической моделью с учётом геометрической и физической нелинейности, то величина коэффициента поперечной деформации является величиной переменной, зависящей в каждой точке тела, вообще говоря, от напряжённо-деформированного состояния в этой точке, причём его величина может превышать предельное значение для упругой сплошной среды, равное 0,5. В работе [1] показано, что при всестороннем сжатии сплошной среды, описываемой геометрически и физически нелинейными моделями, коэффициент поперечной деформации может быть величиной, большей 0,5.

**Основные физические зависимости.** Основные физические зависимости для геометрически линейной, но физически нелинейной сплошной среды, находящейся в условиях сферически-симметричного деформирования, можно записать в следующем виде:

$$\sigma = 3K(\varepsilon, \Gamma) \cdot \varepsilon; \quad T = G(\varepsilon, \Gamma) \cdot \Gamma. \quad (1)$$

Здесь  $K(\varepsilon, \Gamma)$  – переменный модуль объёмного расширения (сжатия);  $G(\varepsilon, \Gamma)$  – переменный модуль сдвига. Конкретный вид этих величин определяет геометрически линейную математическую модель сплошной среды.

В формуле (1) обозначено:  $\sigma = \sigma_{RR} + 2\sigma_{\varphi\varphi}$  – первый инвариант тензора напряжений;  $\varepsilon = \varepsilon_{RR} + 2\varepsilon_{\varphi\varphi}$  – первый инвариант тензора деформаций;  $T = \frac{1}{\sqrt{3}} |\sigma_{RR} - \sigma_{\varphi\varphi}|$  – интенсивность касательных напряжений (величина, пропорциональная второму инварианту девиатора напряжений);  $\Gamma = \frac{1}{\sqrt{3}} |\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\varphi\varphi}|$  – интенсивность деформаций сдвига (величина, пропорциональная второму инварианту девиатора деформаций). При этом компоненты деформации связаны с перемещениями соотношениями:

$$\varepsilon_{RR} = \frac{\partial u_R}{\partial R}; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi} = \varepsilon_{\theta\theta} = \frac{u_R}{R}.$$

Для построения деформационных соотношений сплошных сред с учётом геометрической нелинейности было предложено несколько подходов, в частности подход, основанный на допущении о независимости формы записи замыкающих уравнений от вида рассматриваемой «геометрии» сплошной среды [2]. В соответствии с гипотезой об эквивалентности формы записи замыкающих уравнений полагают, что форма записи замыкающих уравнений, каковыми являются переменный модуль объёмного расширения (сжатия)  $K(\varepsilon, \Gamma)$  и переменный модуль сдвига  $G(\varepsilon, \Gamma)$ , не зависит от того, является ли рассматриваемая модель сплошной среды геометрически линейной или геометрически нелинейной. Таким образом, основные физические соотношения геометрически и физически нелинейного аналога сплошной среды, находящейся в условиях сферически-симметричного деформирования, будут иметь вид:

$$\sigma^* = 3K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \varepsilon^*; \quad T^* = G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \Gamma^*. \quad (2)$$

Здесь  $K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$  – геометрически нелинейный аналог переменного модуля объёмного расширения (сжатия);  $G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$  – геометрически нелинейный аналог переменного модуля сдвига. Конкретный вид этих величин определяет геометрически нелинейную математическую модель сплошной среды.

В формуле (2) обозначено:  $\sigma^* = \sigma_{RR}^* + 2\sigma_{\varphi\varphi}^*$  – первый инвариант тензора обобщённых напряжений;  $\varepsilon^* = \varepsilon_{RR}^* + 2\varepsilon_{\varphi\varphi}^*$  – первый инвариант тензора нелинейных деформаций;  $T^* = \frac{1}{\sqrt{3}}|\sigma_{RR}^* - \sigma_{\varphi\varphi}^*|$  – интенсивность обобщённых касательных напряжений (величина, пропорциональная второму инварианту девиатора обобщённых напряжений);  $\Gamma^* = \frac{1}{\sqrt{3}}|\varepsilon_{RR}^* - \varepsilon_{\varphi\varphi}^*|$  – интенсивность нелинейных деформаций сдвига (величина, пропорциональная второму инварианту девиатора нелинейных деформаций). При этом связь между компонентами деформации и перемещениями устанавливается соотношениями:

$$\varepsilon_{RR}^* = \frac{\partial u_R}{\partial R} + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2; \quad \varepsilon_{\varphi\varphi}^* = \varepsilon_{\theta\theta}^* = \frac{u_R}{R} + \frac{1}{2} \left( \frac{u_R}{R} \right)^2.$$

Обобщённые напряжения  $\sigma_{RR}^*$  и  $\sigma_{\varphi\varphi}^*$  выражаются через истинные напряжения  $\sigma_{RR}$  и  $\sigma_{\varphi\varphi}$ , действующие по граням косоугольного параллелепипеда, рёбра которого до деформации были параллельны осям ортогональной сферической системы координат  $R, \theta, \varphi$ , при помощи соотношений [3]

$$\sigma_{RR}^* = \frac{|1 + 2\varepsilon_{\varphi\varphi}^*|}{\sqrt{1 + 2\varepsilon_{RR}^*}} \sigma_{RR}; \quad \sigma_{\varphi\varphi}^* = \sqrt{1 + 2\varepsilon_{RR}^*} \sigma_{\varphi\varphi}.$$

**Построение расчётных соотношений.** Рассмотрим вопросы определения коэффициента поперечной деформации при сферически-симметричном деформировании сплошной среды, механическое поведение которой описывается деформационной теорией пластичности сыпучей среды<sup>1</sup> в геометрически линейной и геометрически нелинейной постановках.

Используя зависимости между напряжениями и деформациями, при условии подобия девиаторов напряжений и деформаций, для геометрически линейной модели сплошной среды, находящейся в условиях сферически-симметричного деформирования

$$\begin{cases} \sigma_{RR} = K(\varepsilon, \Gamma) \cdot \varepsilon + 2G(\varepsilon, \Gamma) \cdot \left( \varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right); \\ \sigma_{\varphi\varphi} = K(\varepsilon, \Gamma) \cdot \varepsilon + 2G(\varepsilon, \Gamma) \cdot \left( \varepsilon_{\varphi\varphi} - \frac{\varepsilon}{3} \right); \\ \sigma_{\theta\theta} = K(\varepsilon, \Gamma) \cdot \varepsilon + 2G(\varepsilon, \Gamma) \cdot \left( \varepsilon_{\theta\theta} - \frac{\varepsilon}{3} \right), \end{cases} \quad (3)$$

получим связь между переменными модулями объёмного расширения (сжатия)  $K(\varepsilon, \Gamma)$ , сдвига  $G(\varepsilon, \Gamma)$  и переменным модулем упругости  $E(\varepsilon, \Gamma)$  и переменным коэффициентом поперечной деформации  $\mu(\varepsilon, \Gamma)$ :

$$E(\varepsilon, \Gamma) = \frac{9K(\varepsilon, \Gamma) \cdot G(\varepsilon, \Gamma)}{3K(\varepsilon, \Gamma) + G(\varepsilon, \Gamma)}; \quad \mu(\varepsilon, \Gamma) = \frac{3K(\varepsilon, \Gamma) - 2G(\varepsilon, \Gamma)}{2[3K(\varepsilon, \Gamma) + G(\varepsilon, \Gamma)]}; \quad (4)$$

<sup>1</sup> Гениев Г.А. К вопросу о деформационной теории пластичности сыпучей среды // Строительная механика и расчёт сооружений. 1974. №4. С.8–10.

$$K(\varepsilon, \Gamma) = \frac{E(\varepsilon, \Gamma)}{3[1 - 2\mu(\varepsilon, \Gamma)]}; \quad G(\varepsilon, \Gamma) = \frac{E(\varepsilon, \Gamma)}{2[1 + \mu(\varepsilon, \Gamma)]}. \quad (5)$$

В формуле (3)  $\varepsilon_{00} = \varepsilon_2 = \varepsilon_{\varphi\varphi} = \varepsilon_3$ ;  $\sigma_{00} = \sigma_2 = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_3$ ;

$$K(\varepsilon, \Gamma) = K_0 - K_0 \frac{q}{\varepsilon} \left( 2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \left( \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2;$$

$$G(\varepsilon, \Gamma) = G_0 \left( 1 - \frac{\Gamma}{2\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s} \left( 2 - \frac{\Gamma}{\Gamma_s} \right)^2 \frac{\Gamma}{\Gamma_s} - f K_0 \frac{\varepsilon}{\Gamma}.$$

Для геометрически нелинейной модели сплошной среды, используя зависимости между обобщёнными напряжениями и нелинейными деформациями, при условии подобия девиаторов обобщённых напряжений и нелинейных деформаций

$$\begin{cases} \sigma_{RR}^* = K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \varepsilon^* + 2G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \left( \varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right); \\ \sigma_{\varphi\varphi}^* = K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \varepsilon^* + 2G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \left( \varepsilon_{\varphi\varphi}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right); \\ \sigma_{00}^* = K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \varepsilon^* + 2G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot \left( \varepsilon_{00}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right), \end{cases} \quad (6)$$

получим связь между переменными модулями объёмного расширения (сжатия)  $K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$ , сдвига  $G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$  и переменным модулем упругости  $E^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$  и переменным коэффициентом поперечной деформации  $\mu^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$ :

$$\begin{aligned} E^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) &= \frac{9K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) \cdot G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)}{3K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) + G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)}; \\ \mu^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) &= \frac{3K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) - 2G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)}{2[3K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) + G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)]}; \end{aligned} \quad (7)$$

$$K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) = \frac{E^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)}{3[1 - 2\mu^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)]}; \quad G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) = \frac{E^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)}{2[1 + \mu^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)]}. \quad (8)$$

В формуле (6)  $\varepsilon_{00}^* = \varepsilon_2^* = \varepsilon_{\varphi\varphi}^* = \varepsilon_3^*$ ;  $\sigma_{00}^* = \sigma_2^* = \sigma_{\varphi\varphi}^* = \sigma_3^*$ ;

$$K^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) = K_0 - K_0 \frac{q}{\varepsilon^*} \left( 2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \left( \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2;$$

$$G^*(\varepsilon^*, \Gamma^*) = G_0 \left( 1 - \frac{\Gamma^*}{2\Gamma_s} \right) + K_0 f \frac{q}{\Gamma_s} \left( 2 - \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} \right)^2 \frac{\Gamma^*}{\Gamma_s} - f K_0 \frac{\varepsilon^*}{\Gamma^*}.$$

В представленных выше соотношениях обозначено:  $K_0$  – начальный коэффициент объёмного расширения (сжатия);  $G_0$  – начальный модуль сдвига при чистом сдвиге;

$\Gamma_s$  – предельная интенсивность деформаций сдвига;  $f$  – аналог коэффициента внутреннего трения;  $q$  – коэффициент дилатансии.

**Краевая задача.** Оценку величины коэффициента поперечной деформации будем выполнять, основываясь на соотношении (4<sub>2</sub>) для случая геометрически линейной и на соотношении (7<sub>2</sub>) для случая геометрически нелинейной модели сплошной среды.

Для определения аргументов функций  $\mu(\varepsilon, \Gamma)$  и  $\mu^*(\varepsilon^*, \Gamma^*)$  рассмотрим сферически-симметричное деформирование бесконечного сплошного массива за пределами сферической полости начального радиуса  $R_0$ . Пусть внутренняя поверхность сферической полости получает радиальное перемещение  $u_R^0$ . Определение напряжённо-деформированного состояния бесконечного сплошного массива со сферической полостью, находящегося в состоянии сферически-симметричного деформирования, математически сводится к решению двухточечной краевой задачи для обыкновенного дифференциального уравнения второго порядка с переменными коэффициентами, если краевые условия зададим следующим образом:

$$u(R_0) = u_R^0; \quad u(R_n) = 0. \quad (9)$$

Первое из соотношений (9) означает, что задано радиальное перемещение точек сферической поверхности; второе соотношение говорит о том, что на расстоянии  $R_n$  от центра сферы радиальные перемещения равны нулю.

В случае геометрически линейной модели сплошной среды разрешающее уравнение в перемещениях имеет следующий вид [4]:

$$A \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} + B + F_R = 0, \quad (10)$$

где  $A = \left( K + \frac{4}{3}G + X + m_1 Y \right)$ ;

$$B = \frac{2}{R} \left\{ \left( \frac{\partial u_R}{\partial R} - \frac{u_R}{R} \right) \left( K - \frac{2}{3}G + X + m_2 Y \right) + (\sigma_{RR} - \sigma_{\phi\phi}) \right\};$$

причём  $X = \varepsilon \frac{\partial K}{\partial \varepsilon} + 2 \left( \varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{\partial G}{\partial \varepsilon}$ ;  $Y = \varepsilon \frac{\partial K}{\partial \Gamma} + 2 \left( \varepsilon_{RR} - \frac{\varepsilon}{3} \right) \frac{\partial G}{\partial \Gamma}$ ;

$$m_1 = \frac{4(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\phi\phi})}{3\Gamma}; \quad m_2 = \frac{2(\varepsilon_{\phi\phi} - \varepsilon_{RR})}{3\Gamma}.$$

Для случая геометрически нелинейной модели сплошной среды разрешающее уравнение в перемещениях записывается в следующей форме [4]:

$$A^* \frac{\partial^2 u_R}{\partial R^2} + B^* + D^* F_R = 0. \quad (11)$$

Здесь  $A^* = \left( 1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right)^2 \left( K^* + \frac{4}{3}G^* + X^* + m_1^* Y^* \right) + \sigma_{RR}^*$ ;

$$B^* = \frac{2}{R} \left\{ \left( 1 + \frac{u_R}{R} \right) \left( 1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \left( \frac{\partial u_R}{\partial R} - \frac{u_R}{R} \right) \left( K^* - \frac{2}{3}G^* + X^* + m_2^* Y^* \right) + \left[ \left( 1 + \frac{\partial u_R}{\partial R} \right) \sigma_{RR}^* - \left( 1 + \frac{u_R}{R} \right) \sigma_{\phi\phi}^* \right] \right\};$$

$$D^* = \left(1 + \frac{\partial u_R}{\partial R}\right) \left(1 + \frac{u_R}{R}\right)^2;$$

$$\text{причём } X^* = \varepsilon^* \frac{\partial K^*}{\partial \varepsilon^*} + 2 \left( \varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \varepsilon^*}; \quad Y^* = \varepsilon^* \frac{\partial K^*}{\partial \Gamma^*} + 2 \left( \varepsilon_{RR}^* - \frac{\varepsilon^*}{3} \right) \frac{\partial G^*}{\partial \Gamma^*};$$

$$m_1 = \frac{4(\varepsilon_{RR} - \varepsilon_{\phi\phi})}{3\Gamma}; \quad m_2 = \frac{2(\varepsilon_{\phi\phi} - \varepsilon_{RR})}{3\Gamma}.$$

Решение краевых задач (10), (9) и (11), (9) выполнено методом конечных разностей на кусочно-неравномерной сетке с погрешностью в остаточном члене порядка  $O(h^2)$  для всех узлов сетки, включая граничные. Кусочно-неравномерная сетка задавалась следующим образом: область решения – интервал  $[R_0 - R_n]$  делится на  $N$  равных участков, а затем каждый участок  $[R_i - R_{i+1}]$  делится ещё на  $(N - i)$  участков, где  $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$ . Такое деление обусловлено тем, что с левого края области решения  $[R_0 - R_n]$  характеристики напряжённо-деформированного состояния (напряжения, деформации и их инварианты) имеют значительный градиент, приводящий к необходимости задавать очень мелкую сетку.

Система конечно-разностных уравнений и для задачи (10), (9) (без учёта геометрической нелинейности), и для задачи (11), (9) (с учётом геометрической нелинейности) имеет следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} i = 2; & & -(1 + \alpha_2)u_2 + u_3 &= F_2 - \alpha_2 u_0; \\ i = 3, \dots, n - 2; & & \alpha_i u_{i-1} - (1 + \alpha_i)u_i + u_{i+1} &= F_i; \\ i = n - 1; & & \alpha_{n-1} u_{n-2} - (1 + \alpha_{n-1})u_{n-1} &= F_{n-1}, \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

$$\text{причём для задачи (10), (9) } F_i = \frac{B_i + F_R}{A_i}, \text{ а для задачи (11), (9) } F_i = \frac{B_i + D_i F_R}{A_i}$$

( $i = 2, \dots, n - 1$ ). Коэффициент  $\alpha_i$  равен отношению расстояния между соседними узлами кусочно-неравномерной сетки:  $\alpha_i = \frac{h_i}{h_{i-1}}$ . По построению  $1 \leq \alpha_i \leq 2$ .

Построение решения выполнялось методом итераций, причём на каждой итерации система конечно-разностных уравнений решалась методом прогонки. Доказательство устойчивости метода прогонки для системы (12) приведено в работе [5].

В качестве начального приближения решения принималось решение данной краевой задачи для физически и геометрически линейной модели сплошной среды (в силу его интегрируемости). Окончание процесса итераций контролировалось по перемещениям:  $|u_{Ri}^k - u_{Ri}^{k-1}| \leq \Delta$ , где  $k$  – номер итерации;  $\Delta$  – погрешность вычислений.

Описанный алгоритм решения двухточечной краевой задачи реализован в пакете программ «SFERA», разработанном в среде программирования математического пакета «MATLAB». При выполнении расчётов параметры геометрии полупространства, с приведённой начальной плотностью  $\frac{F_x}{G_0 \Gamma_s} = 0,005$ , принимались следующими:

начальный радиус сферической полости  $R_0 = 1$  м, толщина сжимаемой толщи полупространства  $R_n = 12$  м, количество узлов кусочно-неравномерной сетки  $N = 24$ , количество расчётных точек  $n = 277$ . Механические константы сплошной

среды имели следующие значения:  $\frac{K_0}{G_0} = 5,0$ ; предельная интенсивность деформаций

сдвига  $\Gamma_s = 0,231$ ; приведённый коэффициент дилатансии  $\frac{q}{\Gamma_s} = 1$ ; коэффициент

трения  $f = 0,1; 0,5; 0,9$ . Вычисления выполнялись с точностью  $\Delta \leq 0,0001$ .

Начальное смещение границы сферической полости принималось равным  $\frac{u_R^0}{\Gamma_s} = 0,5$ .

Это значение обеспечивало допредельную ( $\Gamma < \Gamma_s$ ) стадию работы материала на границе сферической полости для принятых констант сплошной среды и параметров геометрии полупространства.

На рис. 1 представлено решение сформулированной краевой задачи, то есть показаны графики относительных радиальных перемещений  $\frac{u_R}{\Gamma_s}$ , относительных радиальных

и тангенциальных деформаций  $\frac{\varepsilon_R}{\Gamma_s}$ ;  $\frac{\varepsilon_\phi}{\Gamma_s}$  и напряжений  $\frac{\sigma_R}{G_0\Gamma_s}$ ;  $\frac{\sigma_\phi}{G_0\Gamma_s}$ , относи-

тельных инвариантных величин  $\frac{\varepsilon}{\Gamma_s}$ ;  $\frac{\sigma}{G_0\Gamma_s}$ ;  $\frac{T}{G_0\Gamma_s}$ ;  $\frac{\Gamma}{\Gamma_s}$ . Все кривые построены для

коэффициента внутреннего трения  $f = 0,5$ .

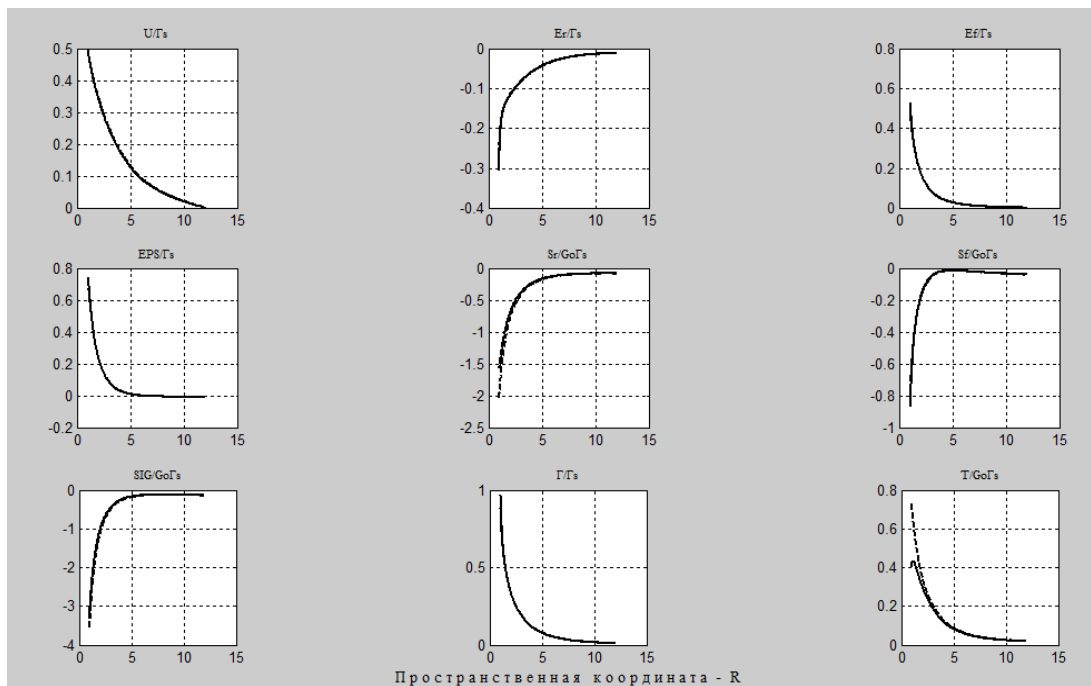


Рис. 1. Решение краевой задачи

Характер изменения коэффициента поперечной деформации по толщине сферического полупространства для различных значений коэффициента внутреннего трения  $f$  показан на рис. 2.

На рис. 3 представлен характер изменения коэффициента бокового давления  $\frac{\sigma_\phi}{\sigma_R}$  по толщине сферического полупространства для различных значений коэффициента внутреннего трения  $f$ .

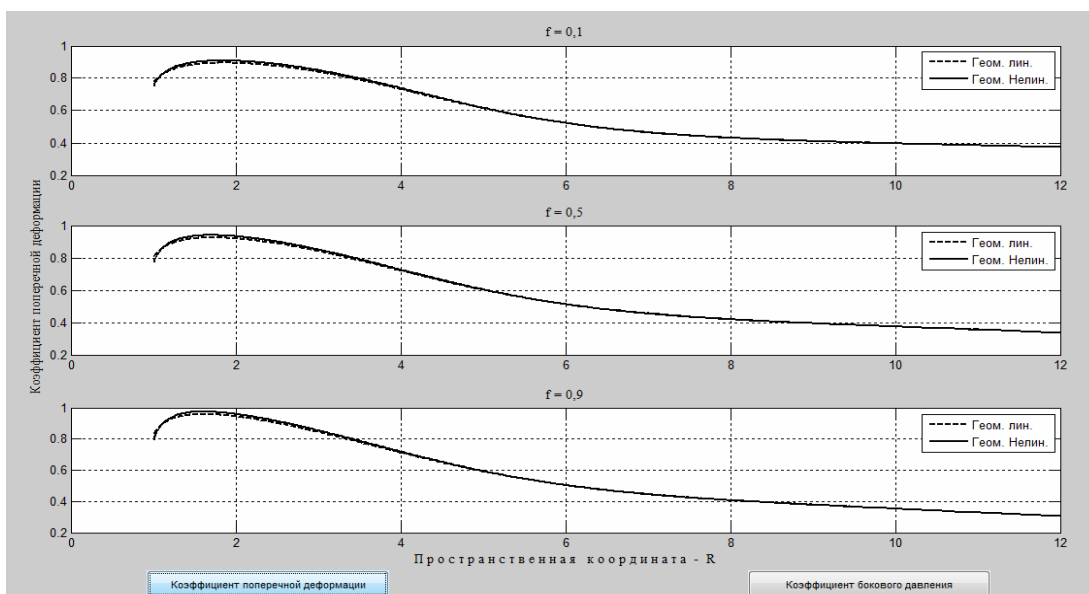


Рис. 2. Коэффициент поперечной деформации

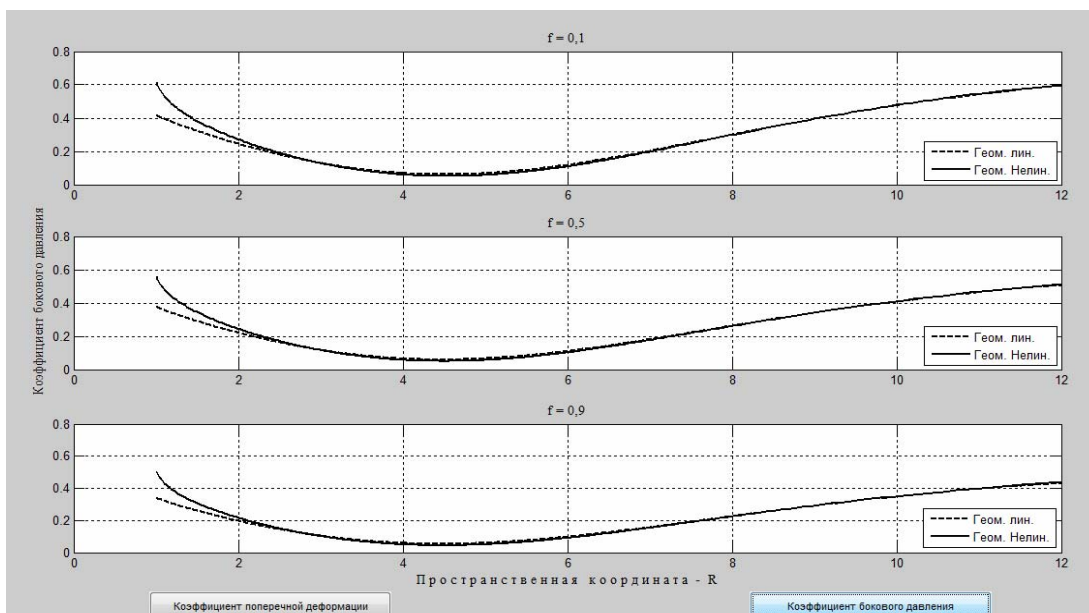


Рис. 3. Коэффициент бокового давления

На рисунках пунктирные линии соответствуют случаю геометрически линейной модели, сплошные линии – геометрически нелинейной модели сплошной среды.

#### Выводы:

1. Численные исследования показывают, что величина коэффициента поперечной деформации существенно зависит как от механических характеристик материала полупространства, уровня развития напряжённо-деформированного состояния в рассматриваемой точке, так и от вида рассматриваемой математической модели сплошной среды (геометрически линейной или геометрически нелинейной). Максимального значения коэффициент поперечной деформации достигает в точках сплошной среды, несколько отстоящих от края сферической полости, то есть там, где уровень напряжённо-деформированного состояния становится меньше максимального примерно в два раза. Для значительных уровней напряжённо-деформированного состояния коэффициент поперечной деформации существенно превышает предельное значение для линейно-упругого материала, равное 0,5. Для малых уровней напряжённо-деформированного состояния коэффициент поперечной деформации не превышает

значения 0,5. Для геометрически нелинейной модели коэффициент поперечной деформации выше, чем для геометрически линейной модели сплошной среды, причём, чем меньше коэффициент внутреннего трения, тем эта разница больше.

2. Что касается коэффициента бокового давления, то он монотонно изменяется по глубине сжимаемой толщи по кривой выпуклостью вниз. Его наибольшие значения фиксируются на краю сферической полости и в конце сжимаемой толщи. Наименьшие значения коэффициент бокового давления принимает ближе к середине интервала сжимаемой толщи сферического полупространства. Для геометрически нелинейной модели коэффициент бокового давления выше, чем для геометрически линейной модели сплошной среды в окрестности сферической полости и в конце сжимаемой толщи; в середине интервала сжимаемой толщи коэффициент бокового давления для геометрически нелинейной модели ниже, чем для геометрически линейной модели сплошной среды.

**Заключение.** Представленные в статье результаты могут быть использованы при анализе несущей способности и деформативности сплошных сред типа грунтовых оснований под здания и сооружения, механическое поведение которых описывается геометрически и физически нелинейными моделями.

### Список литературы

1. Бакушев, С.В. Задача всестороннего растяжения (сжатия) в теории нелинейной упругости / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 2008. – №1. – С.23–28.
2. Бакушев, С.В. Геометрически и физически нелинейная механика сплошной среды: Плоская задача / С.В. Бакушев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 312 с.
3. Бакушев, С.В. К вопросу о замыкающих уравнениях при центрально- и осесимметричном деформировании геометрически нелинейной сплошной среды / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1997. – №12. – С.30–35.
4. Бакушев, С.В. Некоторые вопросы центрально- и осесимметричного деформирования геометрически нелинейной сплошной среды / С.В. Бакушев // Известия ВУЗов. Строительство. – 1996. – №8. – С.25–31.
5. Бакушев, С.В. Сферически-симметричные ударные волны в сплошных средах // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1(30). – С.53–68.

### References

1. Bakushev, S.V. The task of full stretch (compress) the nonlinear theory of elasticity / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction]. – 2008. – No.1. – P. 23–28.
2. Bakushev, S.V. Geometrical and physic non-linear mechanic of continuous mediums: Plane problem / S.V. Bakushev. – M.: The Book House «LIBROCOM» Publ., 2013. – 312 p.
3. Bakushev, S.V. About the question of the closing equations with the central and axisymmetric deformation of geometrically nonlinear medium / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 1997. – No.12. – P. 30–35.
4. Bakushev S.V. Some questions about Central and axisymmetric deformation of geometrically nonlinear medium / S.V. Bakushev // News of Higher Educational Institutions. Construction. – 1996. – No.8. – P. 35–31.
5. Bakushev, S.V. Spherical symmetric shock waves in continuous medium / S.V. Bakushev // Regional Architecture and engineering. – 2017. – No.30. – P. 53–68



Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вдовин Вячеслав Михайлович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: alexir-m@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vdovin Vyacheslav Mihailovich**,  
Candidat of Sciences, Professor of the  
department «Building constructions»  
E-mail: alexir-m@mail.ru

## НАДЕЖНОСТЬ КЛЕЁНЫХ ДЕРЕВЯННЫХ РАМ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ ДЛИТЕЛЬНОЕ ВРЕМЯ В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ АГРЕССИИ

В.М. Вдовин

Приводятся результаты натурного обследования состояния клееных деревянных рам, находящихся длительное время в условиях повышенной агрессии. Дается оценка влияния замеченных дефектов на качество древесины на основе результатов испытания деревянных рам на послойное скалывание, изгиб и сжатие.

*Ключевые слова: надежность, прочность, клееная рама, агрессивная среда*

## RELIABILITY GLUED WOODEN FRAMES, OPERATES A LONG TIME IN CONDITIONS OF INCREASED AGGRESSION

V.M. Vdovin

The results of a full-scale survey of glued wooden frames, which were in conditions of increased aggression for time are given. An assessment of the defects impact on the quality of the wood is given according of the results of tests on wooden frames on stratified shearing, bending and compression.

*Keywords: reliability, durability, glulam frame, aggressive environment*

Высокая химическая стойкость природной древесины определяет рациональные области применения несущих конструкций из неё, это прежде всего здания и сооружения с агрессивными условиями эксплуатации. Развившаяся в нашей стране в 70-80-е годы прошлого века индустриальная база производства клеёных деревянных конструкций почти 80 % всей продукции готовила для строительства производственных зданий сельскохозяйственного назначения. Это естественно, поскольку многие из них, например свинарники, птичники, коровники, склады химикатов и минеральных удобрений и т.п., относятся к сооружениям с повышенной химической агрессией. Применение металла, бетона и железобетона в таких зданиях и сооружениях без специальных средств защиты конструкций приводило к резкому снижению сроков их эксплуатации.

В Пензенской области в эти годы ряд сооружений был построен в виде прирельсовых складов минеральных удобрений и химикатов пролетом 24 м. В качестве несущих конструкций складов использованы гнuto-клеёные деревянные рамы, установленные с шагом 6 м.

К сожалению, эксплуатация складов в проектном состоянии продолжалась около 20 лет. Последнее десятилетие условия эксплуатации этих сооружений резко изменились в худшую сторону, а именно: ограждающие конструкции стен и покрытия подверглись полной или масштабной разборке, после чего несущие клеёные рамы оказались подвергнутыми всем атмосферным воздействиям (низкие и высокие температуры, снег, дождь, солнечная радиация и др.). Естественно, что подобные воздействия не могли не сказаться на эксплуатационной надежности клеёных деревянных конструкций.

Одно из таких сооружений, около 20 лет эксплуатируемое как прирельсовый склад химикатов и около 10 лет простоявшее в разобранном виде (рис. 1), подвергалось детальному обследованию с целью оценки состояния клеёных деревянных рам и возможности использования их в качестве несущего каркаса здания другого назначения. Натурное обследование клеёных деревянных рам производилось в двух позициях:

- в проектном состоянии (в системе склада);
- в демонтированном положении (уложены в штабеля).

В результате натурных обследований выявлены уточнённые фактические геометрические параметры рам, состояние древесины и клеевых швов и зафиксированы имеющиеся дефекты.



Рис. 1

Для склеивания рам использованы в основном доски (сосна, 2 сорт) толщиной 33 мм и шириной 170 мм (осредненная). В некоторых рамах нижняя гнутая часть рам выполнена из досок толщиной 20 мм при сохранении общей высоты сечения. Склеивание досок выполнено резорциновым клеем ФР-12. Высота сечения в гнутой части рамы составляет  $h_1 = 33 \cdot 33 = 1089$  мм или  $h_1 = 26 \cdot 33 + 12 \cdot 20 = 1098$  мм. Высота сечения в прямолинейной части ригеля  $h_2 = 27 \cdot 33 = 891$  мм.

Ширина сечения рам колеблется от 165 до 175 мм. Такое колебание размера связано с наличием «провисов» в склеиваемых досках, т.е. взаимного сдвига досок, и отсутствием окончательной поверхностной обработки (фрезерования) клеёного пакета склеенных досок. Радиус кривизны карнизной части – 8,5 м.

Древесина рам имеет поверхностную защитную обработку в виде покраски пентафталевыми эмалями типа ПФ-115. В результате натурального детального обследования клеёных деревянных рам обнаружены следующие дефекты:

- поражение синеватостью и гнилью в некоторых поверхностных местах на глубину до 30 мм;
- поверхностное старение древесины, деструкция древесины;
- наличие усушечных трещин по направлению клеевых швов;
- наличие клеевых прослоек толщиной более 0,5 мм (допускаются участки с толщиной прослоек до 1 мм, с расстоянием между ними не более 1 метра);
- наличие несклеенных мест;
- наличие несклеенных мест в зонах с наибольшими напряжениями скалывающих напряжений (опоры, конек);
- наличие трещин по клеевому шву или по древесине близ клеевого шва;
- наличие эксцентриситетов в узлах от неправильной опиловки торцов;
- глубокая коррозия металлических деталей узловых соединений (болты, пластины, уголки);
- нарушение защитной поверхности покраски (трещины, сколы);
- наличие повышенных «провисов» – уступов смежных слоев досок, доходивших до 5 мм вместо допустимых 3 мм.

Все указанные дефекты носят локальный характер, не охватывают масштабы всей рамы и могут быть устранены путем соответствующего залечивания.

При детальном вскрытии дефектов обнаружено, что глубина продольных трещин как по цельной древесине, так и по клеевым швам не превышает 20 мм. Наиболее активной деструкции подвергнута древесина лишь верхних по отношению к поперечному сечению слоев досок рамы, а также в местах нарушения поверхностной покраски.

На большей площади поперечного сечения и длины рамы древесина сохранила естественный вид и структуру.

В целом состояние клеёных деревянных рам по результатам натурального обследования можно оценить как удовлетворительное, позволяющее их использовать в качестве несущих конструкций при детальном выявлении фактической прочности древесины и клеевых швов, оценке их несущей способности и устранении выявленных дефектов.

Ниже приводятся результаты испытаний образцов из древесины обследуемых рам.

Бытует мнение, что древесина – материал недолговечный и со временем его прочность снижается, однако ряд исследований доказывает несостоятельность этого суждения.

В работе [1] на основе результатов испытания образцов из деревянных конструкций (балок, стропил, ферм), эксплуатируемых в течение 38-100 лет, доказано, что прочность древесины практически не снижается. Снижение составляет 1,82-6,36 % по сравнению с требованиями СНиП II-25-80 [2] для новой древесины, т.е. сложившееся мнение о снижении прочности древесины со временем несостоятельно.

Проведена оценка прочности клеёной древесины и клеевых швов несущих конструкций рам, эксплуатировавшихся (около 30 лет) в особо агрессивных условиях. Были взяты образцы из гнуто-клееных деревянных полурам. Заготовки для взятия образцов выпиливались из 3-х участков по длине полурамы: гнутая часть, прямолинейный участок ригеля (примерно середина длины) и опорная часть полурамы (рис. 2).

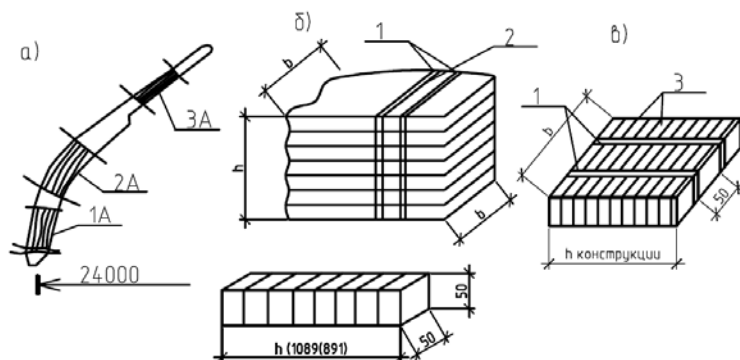


Рис. 2. Схема выборки образцов:

а – участки рам для взятия образцов; б, в – схема выборки образцов при испытании на послойное скалывание;

1 – пропилы; 2 – заготовки для образцов; 3 – образцы

Важным показателем качества клеёной древесины является прочность швов и древесины при послойном скалывании. Для определения предела прочности при скалывании из клеёных заготовок рам были взяты образцы в соответствии с требованиями ГОСТ 25884–83 «Конструкции деревянные клеёные. Методы определения прочности клеевых соединений при послойном скалывании». Образцы для испытаний показаны на рис. 2. Взятые таким образом образцы позволили судить о прочности древесины и клеевых швов как по высоте сечения, так и по его ширине.

Скалыванию подвергались сечения образцов поочередно – одно по клеевому шву и рядом за ним по древесине. Такое испытание позволяет судить о качестве клеевых швов по отношению к прочности конкретной склеиваемой древесины.

Помимо стандартных образцов по ГОСТ 25884–83 из оставшейся части заготовок были изготовлены образцы средних размеров для определения прочности клеёной древесины на сжатие и поперечный изгиб. Испытание таких образцов позволяет судить о фактической прочности клеёной древесины с учетом масштабного фактора,

т.е. с учетом имеющихся по рабочему сечению пороков древесины и дефектов клеевых швов.

Испытания прочности образцов древесины при сжатии и изгибе производились в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.3–73\* «Метод определения предела прочности при статическом изгибе» и ГОСТ 16483.10–73 «Метод определения предела прочности при сжатии вдоль волокон».

Перед испытаниями деревянные образцы выдерживались в лабораторных условиях (температура +20°C и относительная влажность воздуха  $W=65\%$ ) до получения древесины равновесной влажности. Влажность древесины образцов составляла  $W=10-12\%$ .

Испытание образцов на послойное скалывание проводилось на испытательной машине УММ-5 с максимальной шкалой измерителя 2 тс (20 кН) и ценой деления 2 кгс (0,02 кН).

Испытание образцов на изгиб и сжатие осуществлялось на гидравлической разрывной машине ГРМ-50.

Испытания показали следующие результаты:

- среднее значение предела прочности клеевого шва при послойном скалывании – 6,38 МПа;
- среднее значение предела прочности древесины при послойном скалывании – 6,64 МПа;
- среднее значение предела прочности клеёной древесины при поперечном изгибе – 32,6 МПа (40,86 МПа).

При этом следует отметить следующее:

➤ При испытании образцов на послойное скалывание разрушение образцов происходило преимущественно по древесине или частично по шву и частично по древесине, поэтому показателем среднего предела прочности при послойном скалывании можно считать прочность древесины, при этом прочность клеевого шва составляет величину, которая не меньше полученной.

➤ Прочность при послойном скалывании по абсолютной величине несколько ( $\approx 5-6\%$ ) ниже в верхних слоях пакета по сравнению с прочностью срединных и нижних слоев.

➤ По ширине пакета не замечено существенного изменения прочности древесины и клеевых швов при послойном скалывании.

При испытании образцов на поперечный изгиб зафиксировано существенное влияние пороков древесины (сучков) на характер разрушения и величину разрушающей нагрузки. Поскольку образцы имели ширину сечения, равную примерно 60 мм (при распиловке пакета на три части), то в ряде образцов дефекты, допустимые для досок шириной 170 мм, в испытанном образце охватывали всё сечение по ширине и почти треть сечения по высоте. Это, естественно, приводило к резкому снижению прочности образца при изгибе в общей серии испытания образцов. Если исключить показатели прочности образцов, разрушившихся от наличия чрезмерных сучков, то средний предел прочности при поперечном изгибе составит не 32,5 МПа, а  $\sigma_{кп.ч}=40,86$  МПа.

Испытание образцов на поперечный изгиб показали некоторое уменьшение прочности в образцах, взятых из верхних слоев сечения рамы и боковых поверхностей, т.е. имеет место снижение прочности древесины, вызванное деструкцией её от воздействия агрессивной среды при нарушенной поверхностной защитной обложке.

Сравнивая значения фактических величин пределов прочности с рекомендуемыми, можно отметить, что:

- Прочность древесины рам на скалывание отвечает требованиям СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции. Нормы проектирования» по второму сорту для несущих деревянных конструкций. Кроме того, независимо от продолжительного срока эксплуатации рам она отвечает по прочности требованиям к качеству древесины для вновь изготавливаемых клеёных деревянных конструкций, т.е. если и были какие-то потери прочности древесины, вызванные агрессивными условиями эксплуатации, то эти потери не привели в целом к снижению требований по качеству клеёной древесины.

- Испытания показали достаточно высокую прочность клеевых швов на скалывание. Практически все образцы при скалывании в основном разрушались частично по древесине, частично по клеевому шву, что тоже допустимо. Сравнивая

результаты испытаний с требованиями к клеевым швам, можно констатировать, что качество клеевых швов достаточное, т.е. прочность их не ниже рекомендуемых в [2] значений, а учитывая то, что разрушение образцов происходило по древесине, а не по клеевым швам, можно говорить о достаточно хорошем качестве клеевых швов (выше, чем прочность склеиваемой древесины).

- Прочность древесины клеёных рам при поперечном изгибе и сжатии, по результатам испытания образцов средних размеров, согласно требованиям СНиП II-25—80, можно отнести ко второму сорту. Следует заметить, что показатели предела прочности отдельных образцов имеют сравнительно большой разброс (от 20 до 60 МПа). Это связано с тем, что при распиловке клеёного пакета на образцы дефекты (сучки, продольные трещины) древесины, которые существенно влияют на прочность, неравномерно распределяются по сечениям испытанных образцов. Так, в некоторых образцах сучок охватывал почти половину высоты сечения по всей ширине и располагался в растянутой зоне. Все образцы, показавшие предел прочности меньше 40 МПа, разрушились исключительно по сучкам. Можно предположить, что в общем клеёном пакете досок рамы влияние этих сучков будет несколько меньше, т.к. относительно общей площади сечения рамы они занимают меньшую часть, нежели в испытываемых образцах. Поэтому средний показатель предела прочности при изгибе для клеёной рамы может оказаться несколько большим по сравнению с полученным.

- Испытания показали также то, что агрессивные условия эксплуатации (особенно круглогодичное нахождение на открытом воздухе) не могли не сказаться на качестве древесины для поверхностных слоев сечения рам. Особенно это было заметно на прочностных показателях досок верхнего слоя клеёного пакета. Как правило, прочность древесины этих слоёв меньше, чем средних слоёв. Самое глубокое проникновение агрессивного воздействия на древесину охватывало 2 верхних слоя досок. Отрицательное воздействие проявлялось в образовании усушечных трещин (снижающих прочность древесины при скалывании) и деструкции древесины в некоторых случаях с появлением следов гнили (снижающих прочность как при скалывании, так и при изгибе, сжатии). Следует заметить, что подобное агрессивное воздействие наблюдалось только в тех местах, где нарушено защитное покрытие (лакокрасочная покраска), и особенно это касалось верхней грани сечения, где имело место прямое попадание влаги и других реагентов.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Несмотря на длительный срок эксплуатации клееных деревянных рам в качестве несущего каркаса складского сооружения, подверженных воздействию химической агрессивной среды от минеральных удобрений и атмосферным воздействиям (при отсутствии ограждающих конструкций), древесина рам сохранила прочностные свойства, необходимые для нормальной эксплуатации несущих конструкций каркасного здания или сооружения.

2. Дефекты, образовавшиеся в клееной древесине от длительного воздействия агрессивных факторов, носили локальный характер и находились, как правило, в местах с поврежденной защитной окраской, что облегчает восстановление и залечивание их с целью повторного использования клееных рам как несущих конструкций каркаса других зданий и сооружений.

#### Список литературы

1. Цепяев, В.А. О прочности деревянных конструкций зданий / В.А. Цепяев // Жилищное строительство. – 2002. – №8. – С.5–7.
2. СП 64.133330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная редакция СНиП II-25-80. – М., 2011.

#### References

1. Tsepiaev, V.A. On the strength of wooden structures of buildings / V.A. Tsepiaev // Housing construction. – 2002. – No. 8. – С. 5–7.
2. SP 64.133330.2011. A wooden structure. The updated edition of SNiP II-25–80. – М., 2011.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Монахов Владимир Андреевич,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Механика»

**Саакян Розалия Юрьевна,**  
студент

**Урин Владислав Владимирович,**  
студент

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Monakhov Vladimir Andreevich,**  
Doctor of Sciences,  
Professor of the department «Mechanics»

**Saakyan Rosalia Yurevna,**  
student

**Urin Vladislav Vladimirovich,**  
student

## АЛГОРИТМ РАСЧЁТА РАМЫ НА УСТОЙЧИВОСТЬ НА ОСНОВЕ ДИСКРЕТНОЙ МОДЕЛИ РАСЩЕПЛЁННОГО СТЕРЖНЯ

В.А. Монахов, Р.Ю. Саакян, В.В. Урин

Предложена методика определения критического состояния статически неопределимой стержневой системы на основе представления системы в виде модели, стержни которой «расщеплены» на две составляющие: упругую, испытывающую чистый изгиб, и шарнирную цепь, в которой действуют только продольные усилия. Суть метода состоит в одновременном составлении двух матриц равновесия. Одна из матриц характеризует равновесное состояние механической системы вследствие изгибных деформаций упругой ветви стержня, а другая – то же состояние, но обусловленное продольными деформациями другой ветви – шарнирной цепи. Далее, зная алгоритм построения геометрической матрицы, нетрудно перейти к матрице податливости, которая и будет решающим шагом на пути определения критического состояния системы. Старшее собственное число композиции матриц податливости упругой ветви и матрицы равновесия шарнирной цепи характеризует параметр критической нагрузки стержневой системы.

*Ключевые слова: алгоритм расчета, устойчивость рамы, расщепленный стержень, дискретная модель, критическая сила*

## ALGORITHM OF CALCULATION FRAME BUCKLING RESISTANCE BASED ON DISCRETE MODEL OF ROD SPLITE

V.A. Monakhov, R.Y. Saakyan, V.V. Urin

The authors offer a method of finding critical state of statically indeterminate bar system based on representation the system as a model, the rods of which are «split» into two components: a resilient, experiencing simple bending, and swivel chain experiencing only axial force. The method consists in simultaneous of two equilibrium matrices. One of the matrix describes balanced state a mechanical system due to the bending deformation of elastic part of the rods, and the other – the same condition, but caused by axial strain of another branch – swivel chain. Knowing the algorithm for constructing a geometric matrix, it is easy to turn to the deformability matrix, which is a crucial step in determining the critical state of the system. Maximal private number eigenvalue of elasticity matrix of elastic branch and equilibrium matrix of swivel chain characterizes a parameter of buckling load of the bar system.

*Keywords: main load vector, algorithm of calculation, frame resistance, splite rod, discrete model, critical force*

Представляя стержневую систему в виде набора конечного числа отрезков составных стержней (элементов), связанных в точках дискретизации (узлах) шарнирами, деформированное состояние механической системы можно описать матричным соотношением [10]

$$\bar{\gamma} = [\Gamma] \bar{\zeta}, \quad (1)$$

где  $\bar{\gamma}$  – вектор, состоящий из удлинений и перекосов элементов;  $[\Gamma]$  – матрица преобразования;  $\bar{\zeta}$  – вектор-столбец узловых перемещений, заданных в глобальной системе координат  $xOy$ ; порядок вектора  $\bar{\zeta}$  равен удвоенному числу узлов принятой дискретной модели стержневой системы; удвоенное количество узлов, включая и опорные, определяет число компонент вектора  $\bar{\gamma}$ . Если для некоторой стержневой системы известна матрица  $[H]$ , то, как показано в данной работе, несложно перейти к геометрической матрице  $[H]$ , связывающей, в частности, те же перемещения  $\bar{\zeta}$  с сосредоточенными деформациями изгиба согласно  $\kappa \bar{\delta} = [H] \bar{\zeta}$ . В этом случае перемещения узлов стержневой системы  $\bar{Y}$ , вызванные действием внешней нагрузки  $P$ , находятся по формуле [2]:

$$\bar{Y} = [\Delta] \bar{P}, \quad (2)$$

где  $[\Delta]$  – матрица (внешней) податливости упругой ветви,

$$[\Delta] = \left( [H]^T [R]^{-1} [H] \right)^{-1}. \quad (3)$$

Здесь  $[R]$  – матрица внешней жёсткости одной из ветвей.

Представим стержень «расщепленным» на две ветви: упругую и состоящую из стержней, соединенных шарнирами (рис. 1) [1].

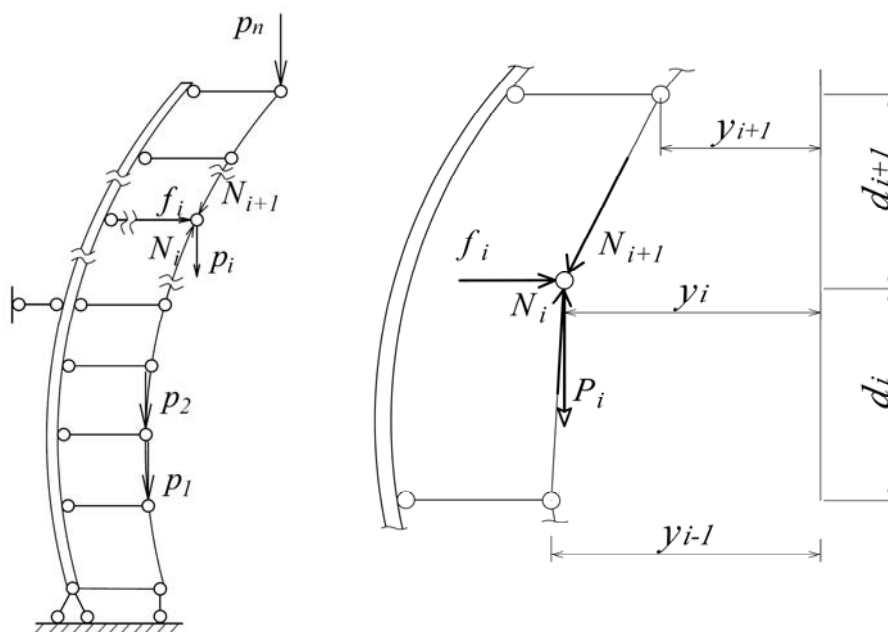


Рис. 1. Модель стержневой системы и узел шарнирной ветви

Рассматривая равновесие узла шарнирной ветви (см. рис. 1), легко установить реакцию  $f_i$ -й поперечной связи, составив условие равновесия в виде  $\sum X_i = 0$ :

$$f_i = P \left[ -\frac{N_i}{d_i} y_{i-1} + \left( \frac{N_i}{d_i} + \frac{N_{i+1}}{d_{i+1}} \right) y_i - \frac{N_{i+1}}{d_{i+1}} y_{i+1} \right] \quad (i = 1, 2, \dots, n),$$

где  $N_i$  – продольная сжимающая сила в  $i$ -м звене цепи;  $y_i$  – перемещение  $i$ -го узла;  $P$  – параметр сжимающей силы в стержне.

Данное равенство в матричной форме можно записать как:

$$\bar{F} = P [N] \bar{Y}, \quad (4)$$

где  $\bar{F} = (f_1, f_2, \dots, f_n)$  – вектор «толкающих» сил;  $\bar{Y}$  – перемещения узлов стержневой системы, вызванные действием внешней нагрузки  $P$ ;

$$[N] = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 2 & -1 & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \ddots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & -1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{d}$$

– матрица равновесия цепи, соединенной шарнирами и испытывающей только сжимающие усилия в случаях, когда на всех участках  $N_i = \text{const}$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ) и  $d_i = \text{const}$  ( $j = 1, 2, \dots, k$ ). В рассматриваемом ниже примере, в случае различающихся значений продольных сил и размеров элементов следует пользоваться приведенными значениями длин элементов и продольных сил.

Обозначив величину, содержащую параметр  $P$ , через  $\omega = \frac{\alpha}{P}$ , а произведение матриц  $[\Delta] \times [N]$  – через  $[A]$ , равенство (2) можно записать в виде зависимости

$$\omega \bar{Y} = [A] \bar{Y}, \quad (5)$$

которая в математике служит определением собственных чисел матрицы  $[A]$ , а в строительной механике является уравнением потери устойчивости.

Максимальное значение собственного числа  $\omega_{\max}$  матрицы критического состояния стержневой системы  $[A]$  позволяет найти наименьшую величину параметра сжимающих сил, т.е. критическую нагрузку

$$P_{\text{кр}} = \alpha / \omega_{\max}, \quad (6)$$

где  $\alpha$  – множитель, относящийся к размерностям матриц  $[A]$ .

При расчёте любых стержневых систем на устойчивость, в том числе и статически неопределимых, целесообразно пользоваться приведенными выше формулами, поскольку на их основе можно, вообще, избежать применения классических методов строительной механики. Действительно, формирование матрицы  $[\Gamma]$ , являющейся ключом предлагаемого метода расчёта стержневых систем не только по прочности и жёсткости, но и на устойчивость, может совершаться в матричной форме и, как следствие, исполняться в автоматическом режиме. Алгоритм построения геометрической матрицы состоит в следующем. На расчётной схеме рамы, например на Г-образной схеме, показанной на рис. 2,б, осуществляется дискретизация системы: намечаются расчётные сечения (узлы) и элементы (участки стержневой системы конечной



длины; на рисунке первые обозначены арабскими цифрами ( $i = 1, 2, \dots, 7$ ), вторые – римскими ( $j = I, II, \dots, VI$ ). Одновременно вводятся локальные системы координат  $x_j O_j y_j$  ( $j = 1, 2, \dots, 7$ ), оси абсцисс которых совмещаются с осями элементов. В дальнейшем для описания процедуры формирования геометрической матрицы используется граф указанной дискретной схемы рамы (рис. 2, в) и сопутствующая ему матрица инцидентности [2, 6, 7].

$$[S]_{(6 \times 7)} = \begin{bmatrix} -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{bmatrix}$$

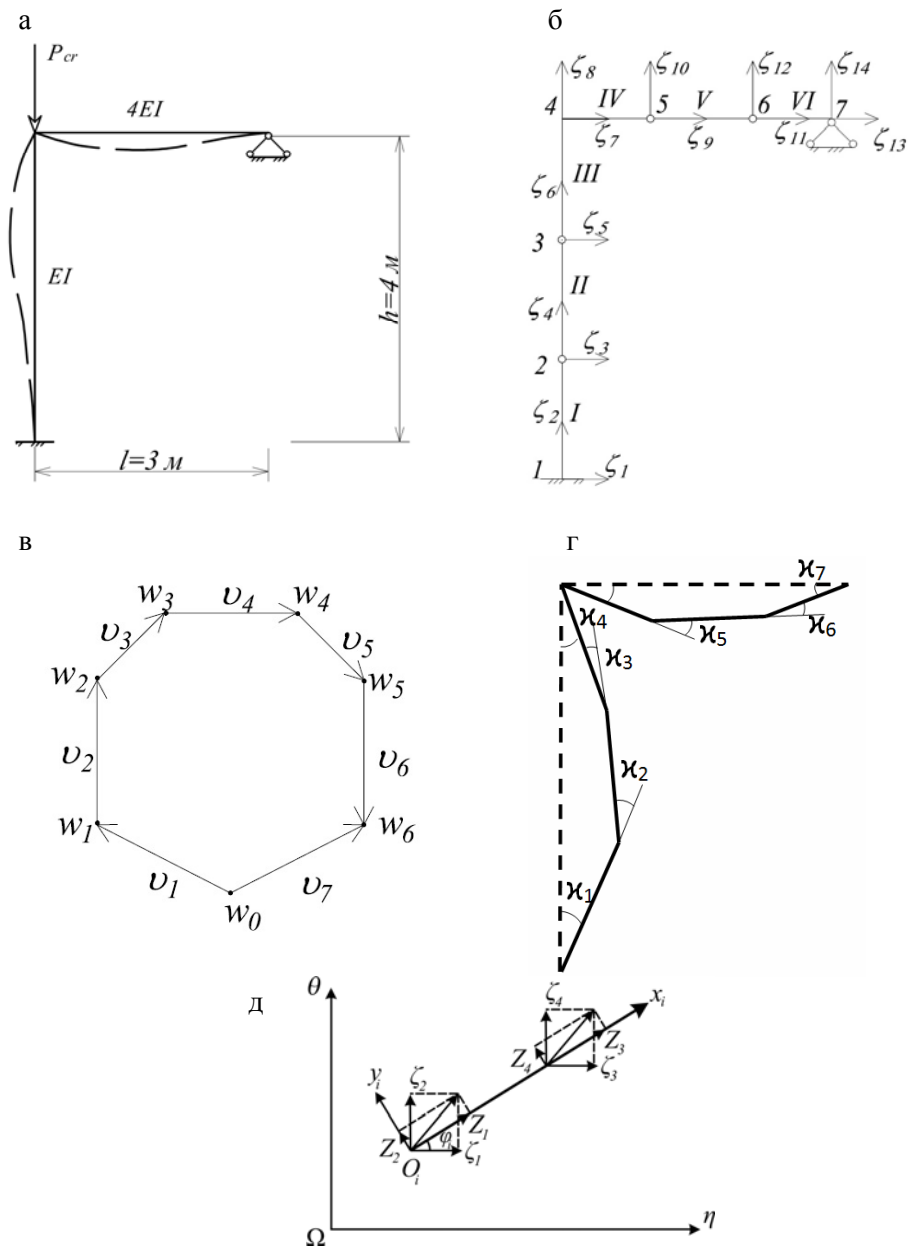


Рис. 2. Расчетная схема рамы, её граф и схема узловых деформаций



Учитывая неподвижность опор и непрерывность стержней, следует вычеркнуть также 1, 2, 4, 6, 9, 11, 13 и 14 столбцы. В результате приходят к матрице вида:

$$[G]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Чтобы получить геометрическую матрицу  $[H]$ , необходимо сформировать матрицу длин элементов  $[L]_{(6 \times 6)}$ :

$$[L]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,75 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0,75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,75 \end{bmatrix} \cdot d,$$

где  $d = \frac{4}{3}$  – длина элементов стойки после дискретизации.

Установив все необходимые компоненты для определения геометрической матрицы и выполнив умножение, находят:

$$[H]_{(7 \times 6)} = [\tilde{S}]_{(7 \times 6)}^T [L]_{(6 \times 6)}^{-1} [G]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -2 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0,75 & -0,75 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0,75 & 1,5 & -0,75 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -0,75 & 1,5 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -0,75 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{d}.$$

Далее, чтобы вычислить матрицу податливости  $[\Delta] = [R]^{-1}$ , следует сформировать матрицу внутренней жесткости  $[r]_{(7 \times 7)}$ . Учитывая то, что значения жесткостей ригеля и стойки различны, необходимо выполнить приведение жесткости элементов стойки и ригеля, в результате чего ячейки жесткости ригеля должны быть умножены на коэффициент  $\alpha = 5,33$  [4].

$$[r]_{(7 \times 7)} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 4 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 12,66 & -5,33 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -5,33 & 21,32 & -5,33 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -5,33 & 21,32 & -5,33 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -5,33 & 18,66 \end{bmatrix} \cdot \frac{2EI}{d}.$$

Матрица внешней жесткости  $[R]$  вычисляется с использованием ранее полученной геометрической матрицы:

$$[R]_{(6 \times 6)} = [H]_{(6 \times 7)}^T [r]_{(7 \times 7)} [H]_{(7 \times 6)} = \begin{bmatrix} 30 & -23 & 7 & -1,33 & 1,33 & 0 \\ -23 & 40,66 & -24,66 & 26,653 & -33,76 & 7,107 \\ 7 & -24,66 & 18,66 & -25,32 & 32,247 & -7,107 \\ -1,33 & 26,653 & -25,32 & 79,36 & -136,213 & 66,329 \\ 0,75 & -15 & 14,25 & -32,625 & 68,625 & -217,938 \\ 0 & 7,107 & -7,107 & 66,329 & -217,938 & 298,489 \end{bmatrix} \cdot \frac{2EI}{d^3}$$

Обратив её, приходят к матрице податливости

$$[\Delta]_{(6 \times 6)} = [R]_{(6 \times 6)}^{-1} = \begin{bmatrix} 0,304 & 0,567 & 0,719 & 0,142 & 0,067 & 0,021 \\ 0,567 & 1,224 & 1,63 & 0,383 & 0,182 & 0,058 \\ 0,719 & 1,63 & 2,344 & 0,695 & 0,332 & 0,105 \\ 0,142 & 0,383 & 0,695 & 0,528 & 0,297 & 0,107 \\ 0,067 & 0,182 & 0,332 & 0,297 & 0,18 & 0,069 \\ 0,021 & 0,058 & 0,105 & 0,107 & 0,069 & 0,031 \end{bmatrix} \cdot \frac{d^3}{6EI}$$

При формировании матрицы равновесия  $[N]$  следует обратиться к расчету Г-образной рамы на прочность (рис. 2,а) [10]. Из расчёта рамы на прочность известно соотношение между продольными силами в стойке  $N_1$  и в ригеле  $N_2$ , то есть  $\frac{N_1}{N_2} = \frac{1}{0,07}$ . Принимая к сведению также разницу длин ригеля и стойки, нетрудно установить коэффициент приведения для ячеек матрицы равновесия IV,V,VI элементов  $\gamma = 0,11$  (рис. 2,б).

Порядок матрицы  $[N]$  равен степени дискретизации сжатых участков системы. В рассматриваемом примере каждый сжатый стержень разделен на три части; таким образом, интересующая нас матрица имеет шестой порядок. Структура матрицы равновесия с учётом коэффициента  $\gamma$  для всех участков ригеля имеет вид:

$$[N]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & & & & \\ -1 & 2 & -1 & & & 0 \\ & -1 & 2 & -1 & & \\ & & -1 & 2,22 & -0,11 & \\ & & & -0,11 & 0,22 & -0,11 \\ 0 & & & & -0,1 & 0,22 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{d}$$

Далее легко вычислить матрицу критического состояния рамы:

$$[A]_{(6 \times 6)} = [\Delta]_{(6 \times 6)} [N]_{(6 \times 6)} = \begin{bmatrix} 1,293 \cdot 10^{-3} & 0,015 & 0,126 & 2,922 \cdot 10^{-3} & -1,96 \cdot 10^{-4} & -1,759 \cdot 10^{-3} \\ -0,03 & 0,033 & 0,287 & 0,06 & -5,255 \cdot 10^{-3} & -4,744 \cdot 10^{-3} \\ -0,058 & 0,016 & 0,412 & 0,209 & -9,345 \cdot 10^{-3} & -8,582 \cdot 10^{-3} \\ -0,051 & -0,035 & 0,097 & 0,097 & -5,872 \cdot 10^{-3} & -9,538 \cdot 10^{-3} \\ -0,022 & -0,016 & 0,01 & 0,313 & -1,408 \cdot 10^{-3} & -4,567 \cdot 10^{-3} \\ -5,661 \cdot 10^{-3} & -4,206 \cdot 10^{-3} & -7,987 \cdot 10^{-3} & 0,101 & -1,383 \cdot 10^{-4} & -7,259 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix} \cdot \frac{l^2}{54EI}$$

и вектор собственных чисел  $\bar{\omega}$  матрицы, воспользовавшись пакетом программ MATLAB:

$$\bar{\omega} = \left( 0,036 \quad 0,013 \quad 1,875 \cdot 10^{-3} \quad 9,931 \cdot 10^{-3} \quad 2,696 \cdot 10^{-5} \quad 1,194 \cdot 10^{-5} \right).$$

При  $\omega_{\max} = 0,036$  критическая сила примет значение  $P = \frac{27,7EI}{l^2}$ .

В ы в о д ы :

1. Алгоритм автоматизированного метода расчёта стержневых систем на устойчивость с использованием графа расчётной схемы является альтернативой как классическим методам строительной механики, так и современному методу конечных элементов по данной проблеме.
2. Определение критических нагрузок стержневых систем на основе старшего собственного числа матрицы критического состояния системы существенно сокращает машинное время, затрачиваемое на их вычисления.
3. Впервые в литературе по строительной механике при решении задачи устойчивости стержневых систем применяются методы дискретной математики, в частности методы теории графов.

#### Список литературы

1. Петропавловский, А.А. О проверке пространственной устойчивости неразрезных комбинированных арочных пролётных строений / А.А. Петропавловский // Исследования по теории сооружений: сб. – М.: Стройиздат, 1964. – Вып. 13.
2. Потапов, В.Д. Строительная механика. Книга 2. Стержневые системы / В.Д. Потапов, А.В. Александров, К.П. Долотказин, С.Б. Косицын. – М.: Стройиздат, 2007. – 512 с.
3. Проценко, А.М. Теория идеально-упругопластических систем / А.М. Проценко. – М.: Наука, 1982. – 287 с.
4. Раевский, А.Н. Основы расчёта сооружений на устойчивость / А.Н. Раевский. – М.: Высшая школа, 1962. – 154 с.
5. Ржаницын, А.Ф. Расчёт стержневых систем с применением принципа двойственности / А.Ф. Ржаницын // Исследования по теории сооружений. – 1980. – Вып. XXIV. – С. 10–23.
6. Ржаницын, А.Ф. Строительная механика / А.Ф. Ржаницын. – М.: Высшая школа, 1982. – 400 с.
7. Рекша, В.В. Применение теории графов в матричной форме метода перемещений / В.В. Рекша // Строительная механика и расчет сооружений. – 1978. – № 1. – С. 33–35.
8. Сподарев, Ю.П. Матричный метод расчёта статически определимых конструкций / Ю.П. Сподарев // Строительная механика и расчет сооружений. – 1975. – №3. – С. 13–18.
9. Харари, А. Теория графов / А. Харари. – М.: Изд-во УРСС Эудиториал, 2003. – 322 с.
10. Fenves, S.J. Network-topological formulation of structures analysis / S.J. Fenves, F.H. Branin // Journal of structural division. – 1963. – Vol. 89. – ST4. – P. 189–214.

#### References

1. Petropavlovskij A.A. On the spatial stability of continuous composite arch bridge span / A.A. Petropavlovskij // Studies of theory of structures: com. – М.: Storojizdat, 1964. – Vol.13.
2. Potapov, V.D. Structural mechanics. Book 2. Core system / V.D. Potapov, A.V. Aleksandrov, K.P. Dolotkazin, S.B. Kosicyn. – М.: Storojizdat, 2007. – 512 p.
3. Procenko, A.M. The theory of perfectly elasto-plastic systems / A.M. Procenko. – М.: Nauka, 1982. – 287 p.
4. Raevskij, A.N. Bases of calculation of constructions on stability / A.N. Raevskij. – М.: Higher school, 1962. –154 p.

5. Rzhanicyn, A.F. Calculation of rod systems with the application of the principle of duality / A.F. Rzhanicyn // Studies in the theory of structures. – 1980. – Vol. XXIV. – P. 10–23.
6. Rzhanicyn, A.F. Structural mechanics / A.F. Rzhanicyn. – M.: Higher school, 1982. – 400 p.
7. Reksha, V.V. The application of graph theory in matrix deflection method / V.V. Reksha // Construction mechanics and calculation of structures. – 1978. – № 1. – P. 33–35.
8. Spodarev, Ju.P. Matrix method of calculating statically determinate structures / Ju.P. Spodarev // Construction mechanics and calculation of structures. – 1975. – №3. – P. 13–18.
9. Harari, A. Graph theory / A. Harari. – M.: Izd. URSS Jeuditorial, 2003. – 322 p.
10. Fenves, S.J. Network-topological formulation of structures analysis / S.J. Fenves, F.H. Branin // Journal of structural division. – 1963. – Vol. 89. – ST4. – P. 189–214.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Вдовин Вячеслав Михайлович**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Карпов Владимир Николаевич**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: Karpov5656@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Vdovin Vyacheslav Mihailovich**,  
Candidat of Sciences, Professor  
of the department «Building constructions»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Karpov Vladimir Nikolayevich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building constructions»  
E-mail: Karpov5656@mail.ru

## КЛЕЕШПОНОЧНОЕ СОЕДИНЕНИЕ ДЕРЕВЯННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЛАДКИХ КОЛЬЦЕВЫХ ШПОНОК И ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В.М. Вдовин, В.Н. Карпов

Предлагается новый вид соединения деревянных элементов на клеенных кольцевых шпонках. Дается сравнение работы соединений, выполненных с применением различных клеевых композиций. Приводится анализ их работы.

*Ключевые слова: деревянные конструкции, соединение, шпонка, клей*

## GLUE SPLINE CONNECTION OF WOODEN ELEMENTS WITH SMOOTH RING SPLINES AND POLYMER COMPOSITIONS

V.M. Vdovin, V.N. Karpov

A new kind of connection of wooden elements on glued ring splines is proposed. A comparison of the work of the joints made with the use of different adhesive compositions is given. The results of their work are stated.

*Keywords: wooden construction, connection, spline, glue*

В практике отечественного и зарубежного строительства для соединений элементов широко применяются кольцевые металлические шпонки, известные за рубежом как шпонки Тухшерера. Кольцевые шпонки, обладающие сравнительно большой несущей способностью по сравнению с другими видами шпоночных соединений, используются преимущественно в стержневых конструкциях с сильно нагруженными элементами. Возможность перераспределять усилия смятия и скалывания на большую площадь в соединениях на шпонках, благодаря наличию сквозной прорези в металлическом кольце, позволяет повысить предельную разрушающую нагрузку, воспринимаемую шпонкой, и уменьшить общую деформативность всего соединения по сравнению со многими другими видами шпонок.

Однако действующими нормами на проектирование деревянных конструкций соединения на кольцевых шпонках не рекомендовались для широкого применения.

К существенным недостаткам шпоночных соединений следует отнести повышенную трудоемкость изготовления, требующую довольно точной подгонки размеров кольца и фрезеруемой бороздки, повышенные начальные деформации, связанные с наличием рыхлых деформаций от обмятия гнезда и включением шпонки в работу, значительную деформативность всего соединения (податливость) особенно при много-

рядном расположении шпонок, а также опасность коррозии тонкого ( $2 \div 3$  мм) металлического кольца в процессе длительной эксплуатации конструкций.

Клеевые соединения, появившиеся взамен шпоночных, лишены таких недостатков, что сравнительно быстро привело к переориентации в области развития и применения соединений в деревянных конструкциях. Однако при этом остро встал экономический вопрос, связанный с высокой стоимостью полимерных клеев, созданием специальных технологических линий по изготовлению и необходимостью рационального и экономичного использования полимерных композиционных материалов.

В [1] предлагается новый вид высокопрочного соединения на клею кольцевых шпонках (ККШ), основанный на достоинствах тонкой кольцевой металлической шпонки и полимерных композиционных материалов. Суть его заключается в том, что, с целью устранения технологических недостатков при изготовлении шпоночного соединения, кольцевая бороздка может быть проделана увеличенных размеров по ширине, что позволит свободно укладывать в нее металлическое кольцо, а образовавшееся «лишнее» пространство в бороздке заполнять полимерной клеевой композицией, которая после отверждения позволяет шпонке сразу же включиться в работу, минуя процесс первоначального обмятия и обжатия.

Введение полимерной композиции в кольцевую бороздку способствует также упрочнению контактной поверхности древесины соединяемых элементов, а неиспользуемые «излишки» клея, вытекаемые из заполненной бороздки при укладке кольцевой шпонки увеличивают площадь монолитного сцепления соединяемых деревянных элементов. Все это в целом существенно увеличивает несущую способность всего соединения и уменьшает его деформативность.

В процессе эксплуатации стальная кольцевая шпонка находится внутри отвердевшей полимерной композиции, которая надежно защищает ее от возможной коррозии, повышая тем самым эксплуатационную надежность и долговечность такого вида соединения.

Проведены экспериментальные исследования работы предлагаемого вида соединения с различными параметрами шпонок ( $D_{ш}$ ,  $b_{ш}$ ,  $\delta$ ) и деревянных образцов. Результаты экспериментов приведены в [1]. Они подтвердили существенное повышение несущей способности и жесткости предлагаемого вида соединений. Принятые параметры  $D_{ш}$  и  $b_{ш}$  позволили выявить их влияние на несущую способность шпонки, поскольку именно они в основном определяют предельное сопротивление древесины соединяемых элементов скалыванию и смятию.

Отработана технология изготовления соединений на клеенных кольцевых шпонках, когда в предварительно профрезерованные кольцевые бороздки шириной 5 мм, и глубиной, равной  $0,5b_{ш}$ , заливается полимерная композиция. Всесторонние исследования проводились [1] на образцах, когда бороздки заполнялись полимерным клеем ФР-12.

Испытание образцов производилось на сжатие. Нагрузка прикладывалась ступенями до разрушения образца. На каждом этапе нагружения измерялись деформации сдвига соединяемых элементов, по которым затем строились графики зависимости «нагрузка – деформация». Характерный график работы таких образцов приведен на рис. 1.

Испытания показали, что соединения сразу же включаются в работу, минуя стадию «рыхлых деформаций». При этом на первых этапах нагружения происходит незначительное нарастание деформаций. Зависимость роста деформаций – линейная, то есть наблюдается чисто упругая работа образца. На последующих этапах нагружения отмечались характерные скачки роста деформаций, связанных с последовательным скалыванием по рабочим площадкам скалывания. Таких площадок в испытываемых двухсрезах образцах было несколько:

– четыре площадки скалывания, представляющие собой внутреннюю центральную часть самих шпонок;



– четыре площадки скалывания, находящиеся при контурных, внешних к шпонке частях соединяемых элементов;

– две площадки скалывания по контактной поверхности соединяемых элементов, склеенных излишком клея, вытекшего из желобков при сборке соединяемых элементов.

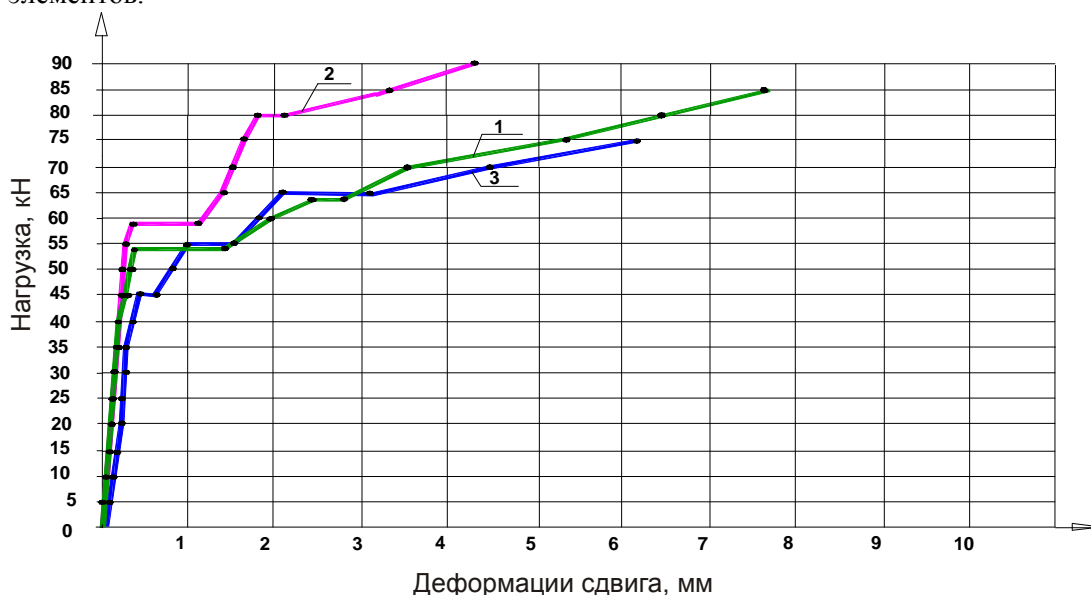


Рис. 1. Зависимости деформации от нагрузки в образцах серии 2ККШ-75 при передаче усилий вдоль волокон:

1 – образец 2ККШ-75-3Б; 2 – образец 2ККШ-75-4Б;

3 – образец 2ККШ-75-5Б (цифра 75 означает диаметр ( $D_{ш}$ ) шпонки)

Наличие такого большого количества площадок скалывания снижает общую опасность работы образца на скалывание и хорошо отвечает одному из основных требований для соединения «принципу дробности». Естественно, это не могло не сказаться на увеличении предельной разрушающей нагрузки на образец.

Другая, не менее опасная работа соединения, связанная с местным смятием древесины вблизи шпонки, также имела благоприятные условия. Рыхлые кромки древесины гнезда шпонки пропитывались в процессе заливки полимерным композиционным материалом и при последующем отверждении имели повышенную поверхностную твердость и прочность. Это способствовало, кроме всего прочего, перераспределению местных сминающих напряжений на большую площадь, то есть можно считать, что сминаемый сердечник фактически имел больший диаметр, чем сама шпонка. Это также способствовало увеличению предельной нагрузки на образец, исходя из работы его на смятие.

В результате испытаний зафиксированы разрушающие нагрузки на образцы каждой серии (по величине диаметра  $D_{ш}$  и ширине кольца  $b_{ш}$ ) и подсчитаны величины несущей способности шпонки исходя из требований действующего СНиПа на проектирование деревянных конструкций. Установлено, что расчетная несущая способность кольцевой шпонки с предварительным введением в желобки клеевой полимерной композиции увеличивается в 1,5 ÷ 2 раза по сравнению с традиционными видами шпонок без заполнения клеем желобков.

Эффект увеличения несущей способности и жесткости, отмеченный выше, получен при заполнении гнезда под шпонку полимерной композицией в виде резорцинового клея ФР-12 [1]. Была предпринята попытка по выявлению влияния различных видов полимерных композиций (клеев) на прочность и деформативность соединений на ККШ. Для экспериментальных исследований применялись клеи, отличающиеся хорошей водостойкостью и не имеющие компонентов, вызывающих коррозию металла. В частности, использовались клеи эпоксидный ЭДП и карбамидный КФЖ. Испытания

проводились на аналогичных образцах, выполненных на клее ФР-12. Для анализа и сравнения результатов испытаний соединений на ККШ были испытаны аналогичные образцы на кольцевых шпонках без клея.

На рис. 2 приведены графики работы образцов на шпонках диаметром  $D_{ш} = 60$  мм и  $b_{ш} = 20$  мм, выполненных с клеем ФР-12, КФЖ и ЭДП, и образцов без заполнения бороздки клеем.

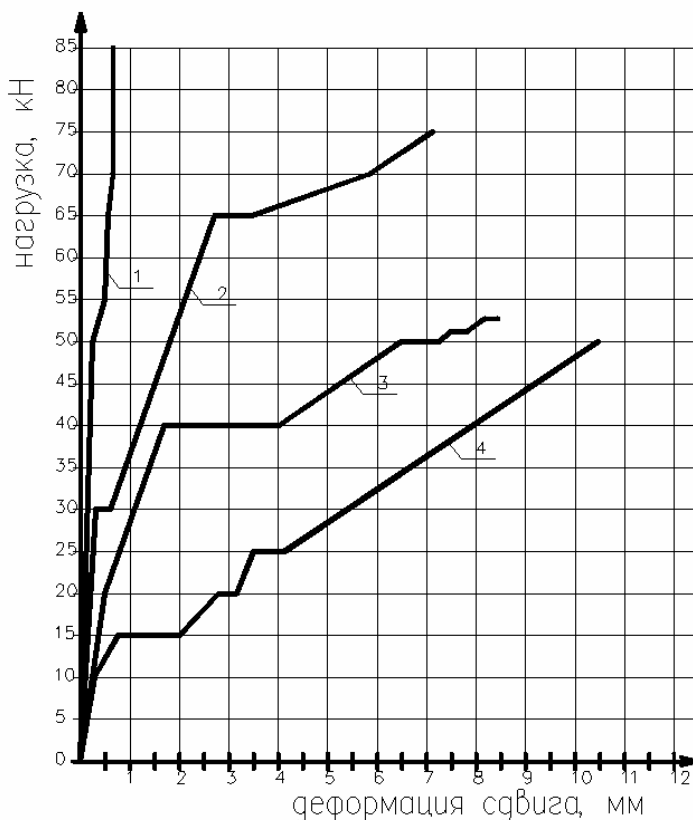


Рис. 2. Зависимости деформации от нагрузки в образцах с применением различных клеев: 1 – со смолой ЭДП; 2 – с клеем ФР-12; 3 – с клеем КФЖ; 4 – без клея

Нетрудно заметить, что предельная нагрузка и величина деформаций в испытанных образцах очень отличаются друг от друга. Наибольшая предельная нагрузка и сравнительно небольшая деформация зафиксированы для образцов на эпоксидном клее, худшие результаты – у образцов на клее КФЖ. Однако можно констатировать, что введение любой клеевой композиции в шпоночное гнездо приводит к увеличению предельной нагрузки на образец (все графики выше, чем график для образца без клея) и к уменьшению деформаций соединения. Сравнительные данные увеличения несущей способности и уменьшения деформативности соединения приведены в таблице.

Таким образом, испытания показали, что несущая способность образцов с введением клеевой композиции может увеличиться в 2 ÷ 4 раза. При этом вид клеевой композиции играет существенную роль. Более жесткая клеевая композиция (эпоксидная) приводит к большему увеличению предельной нагрузки и к более значительному уменьшению деформативности соединения, и наоборот.

Сравнительные результаты испытания образцов  
с различным заполнением шпоночной бороздки

| Коэф-<br>фициент   | Предельная расчетная<br>нагрузка на образец, кН |                |                  |                | Наибольшая предельная деформация<br>(мм) при $P=30$ кН в образцах |                |                  |                |
|--|---|----------------|------------------|----------------|---|----------------|------------------|----------------|
|  | без<br>клея                                     | с клеем<br>КФЖ | с клеем<br>ФР-12 | с клеем<br>ЭДП | без<br>клея   | с клеем<br>КФЖ | с клеем<br>ФР-12 | с клеем<br>ЭДП |
| 1  | 2   | 3              | 4                | 5              | 6   | 7              | 8                | 9              |
| -  | 20  | 40             | 65               | 80             | 5,5   | 1,0            | 0,5              | 0,1            |
| $\frac{P_{\text{с клеем}}}{P_{\text{без клея}}}$           | -   | 2,0            | 3,25             | 4,0            | -   | -              | -                | -              |
| $\frac{\Delta_{\text{с клеем}}}{\Delta_{\text{без клея}}}$ | 1,0   | -              | -                | -              | 1,0   | 0,19           | 0,11             | 0,02           |

## В ы в о д ы :

1. Введение полимерной композиции (клея) в гнездо для установки кольцевой шпонки приводит к увеличению несущей способности и жесткости соединения на ККШ.

2. Вид полимерного клея оказывает при этом существенное влияние на степень этого увеличения. Так, введение эпоксидного клея может привести к росту предельной нагрузки почти в 4 раза, в то время как карбамидный клей увеличивает ее лишь в 2 раза.

## Список литературы

1. Вдовин, В.М. Вклеенные кольцевые шпонки в соединяемых деревянных конструкциях / В.М. Вдовин, В.Н. Карпов, М.С. Галахов. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 172 с.

## References

1. Vdovin, V.M. Glued ring splines in the joined wooden structures / V.M. Vdovin, V.N. Karpov, M.S. Galakhov. – Penza: PGUAC, 2011. – 172 p.

Вятский государственный университет  
610000, Россия, г. Киров,  
ул. Московская, 36,  
тел.: (833) 74-25-65

**Исупов Сергей Александрович**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Строительные  
конструкции и машины»  
E-mail: Deka.prez87@mail.ru

Vyatka state university, city of Kirov  
610000, Russia, Kirov, 36, Moskov St.,  
tel.: (833) 74-25-65

**Isupov Sergei Aleksandrovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building constructions  
and machines»  
E-mail: Deka.prez87@mail.ru

## СОЕДИНЕНИЯ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ НАГЕЛЬНЫХ КОННЕКТОРОВ

С.А. Исупов

Представлен перспективный способ соединения деревянных конструкций. Определены основные типы нагельных коннекторов, позволяющих изготавливать разнообразные деревянные конструкции на основе единого технологического приема, применение которых наиболее целесообразно в условиях заводского производства.

*Ключевые слова:* нагель, нагельные коннекторы, нагельные пластины

## CONNECTIONS OF WOOD STRUCTURES ON THE BASIS OF PIN CONNECTORS

S.A. Isupov

A perspective way of wood structures connections is presented. The main types of pin connectors are determined, their application is more functional at the factory production, where it is possible to produce different wood structures on the basis of a single technological way process.

*Keywords:* pin, pin connectors, pin plates

Приоритеты стратегии развития деревянных конструкций направлены в основном на использование клееной древесины [1], тогда как в реальной строительной практике преобладают конструкции из естественной древесины. Практический опыт их проектирования и производства на базе соединений нагельного типа показал, что для таких конструкций принципиально достижимы достаточно высокие уровни несущей способности при относительной простоте изготовления и сравнительно низкой стоимости.

Сочетание такого рода качественных характеристик предопределило возможность разработки целого ряда современных плоскостных и пространственных деревянных несущих конструкций с соединениями нагельного типа. К ним относятся стропильные металлодеревянные фермы, отдельные виды плоскостных стержневых рам и арок, рассчитанных на применение в зданиях пролетом до 24–30 м, а также некоторые виды пространственных систем регулярного типа, включая сетчатые своды и купола [2].

Однако создается впечатление, что в своих традиционных формах нагельные соединения не обладают качествами, необходимыми для организации достаточно эффективного промышленного изготовления конструкций для массового использования.

Учитывая наличие очевидных тенденций к снижению размеров поперечного сечения рыночного пиломатериала, представляется вполне естественной та мысль, что любое повышение эффективности деревянных конструкций связано с разработкой новых видов соединений, которые могли бы обеспечить увеличение несущей способности конструкций, в том числе посредством использования элементов составного сечения из пиломатериала ограниченного сортамента.

Наиболее перспективное направление совершенствования нагельных соединений связано с переходом от традиционных технологий изготовления соединений, для

которых характерна *последовательная установка* нескольких *одиночных* нагелей [3], к технологиям, базирующимся на *одновременной установке* обобщенной *группы* нагелей в сочетании с металлическими листовыми элементами.

#### *Нагельные коннекторы*

К числу таких средств соединений относятся, в частности, разработанные на кафедре строительных конструкций ВятГУ *нагельные коннекторы* [4]. Нагельные коннекторы представляют собой металлические соединительные элементы деревянных конструкций, содержащие группу *цилиндрических нагелей*, так или иначе закрепленных на объединяющем конструктивном жестком основании.

Основные типы нагельных коннекторов, ориентированных на преимущественное использование при изготовлении сборочных элементов деревянных конструкций в заводских условиях, показаны на рис. 1.

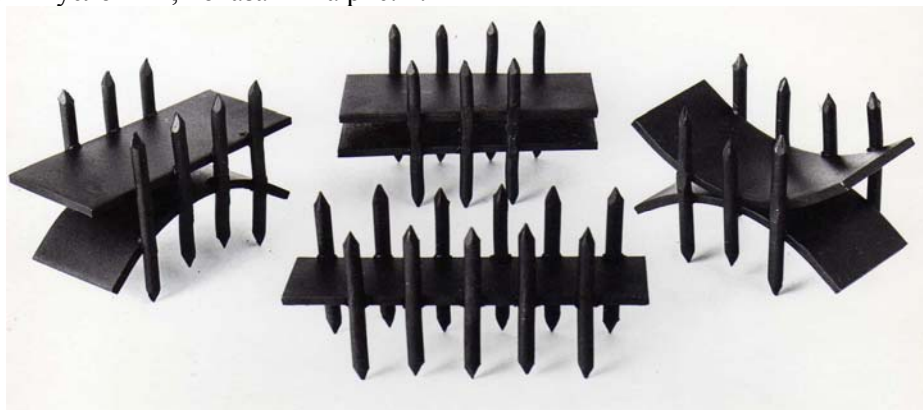


Рис. 1. Основные типы нагельных коннекторов с жесткой основой

Характерной особенностью нагельных коннекторов является использование заостренных нагелей *увеличенного* (по сравнению с традиционными гвоздевыми соединениями) *диаметра* с более *насыщенной* их расстановкой (т.е. с уменьшенным расстоянием между нагелями в продольном и поперечном направлениях). Принципиальная возможность данного подхода к формированию нагельных коннекторов основывается на следующих физических предпосылках:

- поле напряжений, возникающее в древесине по мере внедрения каждого из нагелей, характеризуется тем, что одновременно с вызываемыми им «раскалывающими» напряжениями возникают противодействующие им напряжения сжатия, вызываемые погружением соседних с ним нагелей;

- при внедрении нагельных коннекторов посредством прессового вдавливания исключается негативное воздействие динамики ударного способа погружения, инициирующего (в сочетании с собственными колебаниями нагелей) хрупкие компоненты разрушения древесины;

- исключается необходимость сквозной пробивки соединяемых деревянных элементов, при которой существенно повышается опасность раскалывания, характерная для обычных гвоздевых соединений.

Правомерность указанных предпосылок подтверждена многочисленными экспериментальными исследованиями [5] и, в том числе, исследованием полей напряжения в древесине соединяемых элементов, возникающих в процессе внедрения нагелей и последующего нагружения соединений.

Для дальнейшего анализа работы нагельных коннекторов определим выражения для сдвиговой  $T_c''$  и нормальной  $N_c''$  прочности соединений нагельного типа:

$$T_c'' = T_c / s_1 s_2, \quad (1)$$

где  $T_c$  – несущая способность соединительного элемента в расчете на один срез (плоскость соединения);  $s_1, s_2$  – расстояние между соединительными элементами в продольном и поперечном направлениях соответственно.

$$N_c'' = (m_o A_{oi} / A_i) R_i = m_c R_i, \quad (2)$$

где  $m_0$  – коэффициент, учитывающий влияние концентрации напряжений в ослабленных сечениях соединяемых элементов;  $A_{oi}$ ,  $A_i$  – площадь поперечного сечения несущей основы элемента, определяемая с учетом и без учета ослаблений соответственно;  $R_i$  – расчетное сопротивление материалов соединения;  $m_c$  – коэффициент, учитывающий степень ослабления поперечного сечения и влияние вызываемой ими концентрации напряжений.

Оптимальными являются, очевидно, такие соединения деревянных конструкций, в которых коэффициент  $m_c$ , являющийся своего рода обобщенным показателем конструктивного качества, имеет значения, близкие к единице,  $m_c \rightarrow 1$ , что, в свою очередь, создает предпосылки для достижения состояния равнопрочности соединяемых элементов и соединения в целом.

Возможность более частой расстановки нагелей в составе нагельных коннекторов приводит к тому, что расчетная относительная *сдвиговая* несущая способность соединений такого типа повышается от характерной для обычных гвоздевых соединений величины  $T_c'' = 0,05-0,09$  кН/см<sup>2</sup> до 0,17 кН/см<sup>2</sup> и, в отдельных случаях, до 0,22–0,24 кН/см<sup>2</sup>.

Иными словами, значение указанного параметра приближается к величине расчетного сопротивления древесины скалыванию  $T_c'' \rightarrow R_{ск}$  и, следовательно, практически достигается состояние «равной прочности» соединения и соединяемых элементов.

Прессовая установка заостренных цилиндрических нагелей практически не ослабляет деревянных соединяемых элементов, так как их внедрение осуществляется главным образом за счет «раздвигания» волокон древесины при минимальном их разрушении. Отсюда следует, что относительный показатель нормальной (собственной) прочности этих соединений по выражению 2 близок к единице,  $m_c \rightarrow 1$ .

Размещение и закрепление нагелей в материале с повышенной жесткостью (высоким модулем упругости  $E$ ) создает условия для повышения жесткости их закрепления, что способствует увеличению несущей способности соединений. Установлено [2, 5], что несущая способность симметричных соединений такого типа за счет жесткого прикрепления нагелей к основанию возрастает до 40 % по сравнению с соединениями традиционного типа (с деревянным промежуточным элементом).

Конструктивные параметры нагельных коннекторов – геометрические размеры и количество *нагелей*, механические характеристики материала и размеры поперечного сечения объединяющей *основы* – определяются расчетным путем, целью которого является обеспечение требуемой прочности и жесткости соединения в целом.

Указанный расчет выполняется на основе следующих уравнений:

$$\begin{aligned} \tau_{\max} &< T_c''; \\ \sigma_{\max} &< N_c''; \\ \delta_{\max} &< \delta_{\text{доп}}, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $\tau_{\max}$  – максимальные сдвигающие напряжения по контактному слою;  $\sigma_{\max}$  – максимальные нормальные напряжения по сечению основы;  $\delta_{\max}$  – смещение основы по отношению к соединяемым элементам;  $\delta_{\text{доп}}$  – допускаемое смещение.

Системный характер выражения 3 объясняется тем, что конструктивные параметры несущей основы определяют не только нормальную прочность соединения, но и опосредованно его сдвиговую прочность, поскольку ими формируются граничные условия нагелей, работающих при нагружении как консольно закрепленные изгибаемые элементы.

*Общая маркировка нагельных коннекторов* осуществляется по принципу идентификации их вида, типа основы, формы нагелей и способа их объединения: например, маркировочным знаком *ТГк* обозначается нагельная пластина с основой из жестких материалов (*Т*) и гвоздевыми нагелями (*Г*), которые прикрепляются к основе посредством контактной сварки (*к*).

Отличительная особенность *нагельных пластин ТГк* (рис. 2) как одного из основных типов нагельных коннекторов состоит в том, что их объединяющая основа как конструктивный элемент геометрически формируется в одной плоскости; при этом отличительными признаками подобных элементов в целом являются следующие: – конструктивная форма и механические характеристики основы; – геометрическая форма концевой части нагелей; – способ закрепления нагелей относительно основы; – ориентация нагелей по отношению к основе.

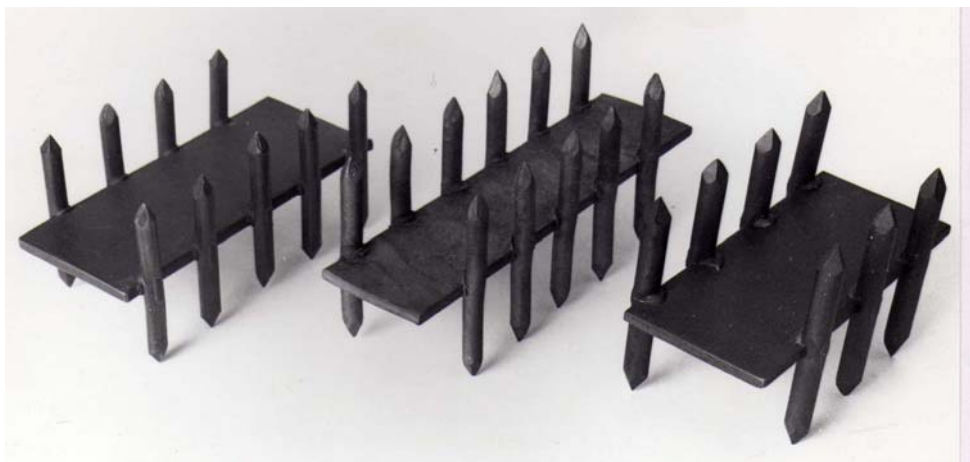


Рис. 2. Нагельные пластины ТГк

В силу очевидных причин конструктивного и технологического характера из всех возможных вариантов организации нагельных коннекторов основными являются решения в виде нагельных пластин *ТГк*, с использованием которых выполняются основные конструктивные решения для каркасов зданий: стойки-колонны; стропильные фермы; прогоны и плиты покрытия.

Завершая сказанное, заметим, что наличие объединенной группы цилиндрических нагелей, формирующих представленные нагельные коннекторы, создает необходимые предпосылки для изготовления линейных деревянных элементов увеличенного поперечного сечения и разнообразных деревянных конструкций на основе единого технологического приема – посредством внедрения группы цилиндрических нагелей в древесину соединяемых элементов.

#### Список литературы

1. Турковский, С.Б. Соединения деревянных конструкций / С.Б.Турковский [и др.] // Обзорная информация о мировом уровне развития строительной науки и техники. – М.: ВНИИИС, 1988. – Вып. 3. – 44 с.
2. Слицкоухов, Ю.В. Конструкции из дерева и пластмасс / Ю.В.Слицкоухов [и др.]. – М.: Стройиздат, 1986. – 543 с.
3. СП 64.13330.2011. Деревянные конструкции. Актуализированная версия СНиП 11-25-80 // ЦНИИСК им. Кучеренко – институт ОАО «НИЦ «Строительство». – М., 2011. – 87 с.
4. Рекомендации по проектированию и изготовлению деревянных конструкций с соединениями на пластинах с цилиндрическими нагельными // ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко. – М., 1988. – 78 с.
5. Исупов, С.А. Экспериментальная оценка жесткости соединений деревянных конструкций на нагельных пластинах ТГк / С.А. Исупов. – М.: ВНИИИС, 1988. – 7 с.

## References

1. Turkovskii, S.B. Connections of wood constructions / S.B. Turkovskii [et al.] // Review information about world level of building science and engineering – M.: VNIIS Publ., 1988. – Vol.3. – 44 p.
2. Slitskoukhov, Yu.V. Constructions from wood and plastic / Yu.V. Slitskoukhov [et al.]. – M.: Stroiizdat Pub, 1986. – 543 с.
3. SP 64.13330.2011. Wood constructions. Actualized version Building Code 1-25-80 // CNIISK. V.A. Kucherenko – institute OAO “NITs “Stroitel’stvo”. – M., 2011. – 87 p.
4. Recommendations for designing and producing of wood constructions with connections on the plates with cylindrical pins // CNIISK. V.A. Kucherenko. – M., 1988. – 78 p.
5. Isupov, S.A. Experimental evaluation of stiffness of wood constructions on the pin plates of model HNC / S.A. Isupov. – M.: VNIIS Publ., 1988. – 7 p.



Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Болдырева Ольга Вячеславовна,**  
старший преподаватель кафедры  
«Строительные конструкции»  
E-mail: boov@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Boldyreva Olga Vajcheslavovna,**  
Senior Lecturer of the department «Building  
constructions»  
E-mail: boov@yandex.ru

## МЕТОД ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ ОБРАЗОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

О.В. Болдырева

Предложен алгоритм определения методом цифровой обработки образов перемещений и трещин в железобетонной балке. Измерение полей перемещений в заданной плоскости основано на измерении перемещения отдельных частиц, для чего образы этих частиц регистрируются на цифровую камеру. Дано описание экспериментальной установки, приведены результаты работы метода цифровой обработки образов.

*Ключевые слова: метод цифровой обработки образов, определение перемещений, обнаружение трещин*

## METHOD OF DIGITAL PROCESSING OF IMAGES IN DETERMINATION OF DISPLACEMENTS OF A REINFORCED CONCRETE BEAM

O.V. Boldyreva

The algorithm of detection by the method of digital processing of images of displacements and cracks in reinforced beam is offered. Measurement of displacement fields in a given plane is based on the measurement of individual particles movement, so the images of these particles are recorded on digital video. The description of the experimental setup is given, the results of the method of digital processing of images are provided.

*Keywords: method of digital processing of images, determination of displacements, detection of cracks*

В нашем исследовании для определения перемещений и наличия трещин в железобетонной балке применялся метод цифровой обработки образов (PIV – международное название метода цифровой трассерной визуализации) [1, 5, 6]. Использовался кросскорреляционный алгоритм, когда начальные и конечные положения частиц фиксируются на разные снимки.

Основная идея итерационных методов состоит в обработке одной и той же области несколько раз, при этом используется результат предыдущей итерации в качестве оценки для параметров обработки на следующей итерации.

С целью определения полей деформаций опорных участков балок при нагружении методом цифровой обработки образов были проведены подготовительные работы (рис. 1).

Для сопоставления параметров модели отображения системы координат эксперимента с системой координат изображения применялась калибровка камеры. Расчетная область должна содержать достаточную текстуру для получения острого корреляционного пика. Поэтому на бетон была нанесена дополнительная искусственная текстура однородного состава с оптимальным размером частиц на изображении 1,5–

2,5 пикселя, а также с хорошим контрастом света и тени на ней. Объект съемки был равномерно освещен.



Рис. 1. Установка фотокамеры и освещения

Фотокамера была установлена так, чтобы матрица камеры была компланарна плоскости фотографируемой поверхности (для уменьшения геометрических искажений). Искажения изображения увеличиваются также с расширением угла обзора, поэтому использовался телеобъектив.

На рис. 2 показан участок балки со схемой армирования, на котором выполнялись измерения методом цифровой обработки образов.

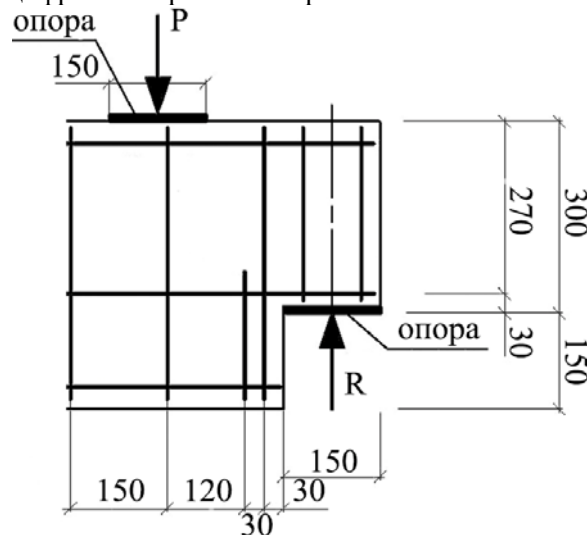


Рис. 2. Опорный участок балки со схемой приложения нагрузки и армирования

Уже на первой ступени нагружения балки в 4 т становится заметной ее деформация (рис. 3).

Визуально появление микротрещин было обнаружено при нагрузке 6 т по циферблату домкрата. По результатам метода цифровой обработки образов полосы сдвига, микротрещины на месте будущих визуально заметных трещин наблюдаются уже на первой ступени в 4 т.

Следует отметить, что зелёным цветом показаны вертикальные минимальные перемещения, которые возникают над опорой, и величина их близка к нулю. Оранжевым цветом показаны вертикальные перемещения величиной около 2 мм. Граница их чётко отделяет саму подрезку ригеля от остальной его части. Максимальные вертикальные перемещения показаны красным цветом и величина их равна 2,3 мм.

Видно, что незначительные вертикальные перемещения около 0,5 мм получает и сама опора (металлический двутавр), на которой установлена консоль балки. По мере удаления от неё по направлению от грузовой площадки к нижнему углу ригеля вертикальные перемещения возрастают и достигают значения 2 мм. Наибольшие перемещения наблюдаются непосредственно под местом установки домкрата (красный цвет), которое является точкой приложения вертикальной нагрузки. При этом в вертикальном сечении балки по высоте в месте приложения силы от домкрата вертикальные перемещения непостоянны по величине. Это говорит о смятии бетона в области, которая на рис. 3 характеризуется наибольшими перемещениями (окрашена в красный цвет). Величина смятия составляет не менее 0,2 мм даже в зоне, непосредственно не контактирующей с поверхностью приложения вертикальной нагрузки (домкратом). Из рис. 3 следует, что максимальные перемещения возникают под грузовой площадкой. Прогиб балки в месте приложения нагрузки при этом составил 0,05 мм.

По мере загрузки балки максимальные перемещения возникают под опорной площадкой и в нижней зоне. Перемещения в самой подрезке практически равны нулю. При возрастании нагрузки величина перемещений увеличивается до 2 мм. Зона максимальных перемещений при увеличении нагрузки до 12 т в нижней зоне ригеля увеличивается. Величина перемещений увеличивается до 3–3,5 мм. Опорная часть ригеля по-прежнему практически не деформируется.

При разрушающей нагрузке 30т максимальные перемещения направлены от грузовой площадки к дополнительной сосредоточенной поперечной арматуре, расположенной в нижней зоне ригеля за подрезкой.

При нагрузке примерно 0,4 от разрушающей в консоли над опорной площадкой образовались две видимые наклонные трещины (рис. 4), с увеличением нагрузки количество их увеличилось с одновременным развитием граничных трещин, проходящих от граней опорной площадки по направлению к грузовой. Визуально заметными становятся две трещины при нагрузке 6 т. При нагрузке примерно 18т ширина их раскрытия составила 0,1–0,3 мм. Затем происходило их раскрытие до 0,7 и 0,8 мм. Разрушение консольной опоры балки произошло при нагрузке 30 т.

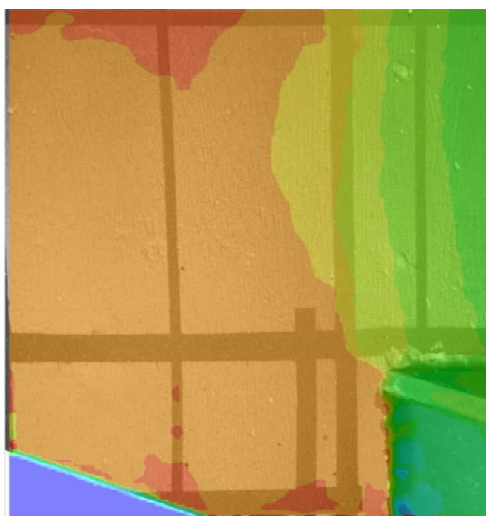


Рис. 3. Перемещения при нагружении балки от 0 до 4 т

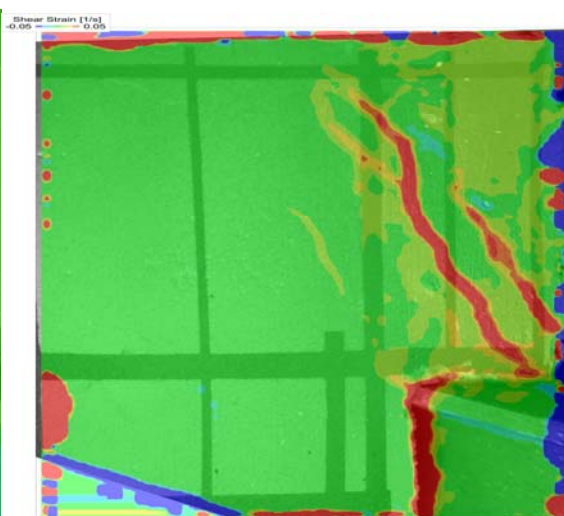


Рис. 4. Деформация сдвига при нагружении балки с 18 до 30 т

Можно сказать, что по мере роста нагрузки перемещения в части ригеля, примыкающей к консольной опоре, возрастают и достигают максимальных значений при достижении разрушающей нагрузки. При этом опорная часть ригеля остаётся практически неподвижной. Величина прогиба достигает максимального значения. Две видимые трещины образуются при нагрузке 20 % от разрушающей, после чего увеличивается их количество и величина раскрытия.

Зависимость прогиба в месте приложения силы от нагрузки приведена на рис. 5. Можно выделить два основных участка. Первый – участок до образования трещин, и второй – после. Речь идет о трещинах, заметных невооруженным глазом. Однако метод цифровой обработки образов позволяет выявить места намечающегося разрушения уже на первой ступени нагружения в линейной стадии работы балки. При нагрузке 6 т прогиб составил 0,05 мм, при нагрузке 12 т – 0,15 мм.

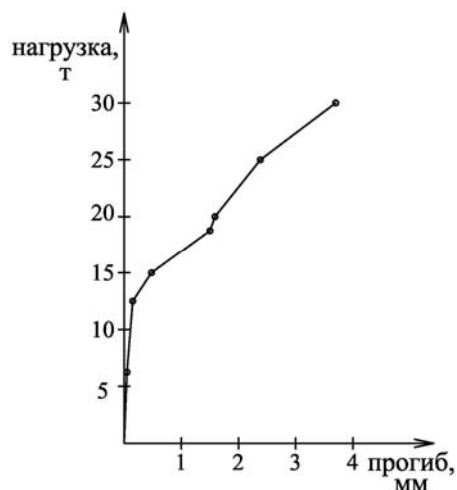


Рис. 5. Прогиб балки в месте приложения нагрузки

Следует отметить, что после появления визуально заметных трещин прогиб в месте приложения нагрузки начинает расти интенсивнее; при нагрузке 18 т прогиб составил уже 1,5 мм, а при нагрузке 30 т – 3,7 мм.

Можно сделать вывод, что при нагрузке примерно 0,6 от разрушающей прогиб в месте приложения силы начинает расти и достигает максимального значения при достижении разрушающей нагрузки.

#### Выводы

1. Метод цифровой обработки образов позволяет выявить места намечающегося разрушения уже на начальной стадии работы консольной опоры ригеля. Микротрещины на месте будущих визуально заметных трещин наблюдаются при достижении 17 % от разрушающей нагрузки. Методом цифровой обработки образов определены полосы сдвига. Визуально появление трещин было обнаружено при нагрузке 6 т (20 % от разрушающей нагрузки).

2. Получены поля перемещений, деформаций сдвига и объема на различных ступенях нагружения и разгрузки, представлены их численные значения, получена картина образования и раскрытия трещин, кривые зависимости прогиба и ширины раскрытия трещин от нагрузки.

3. Метод цифровой обработки образов может быть широко использован в качестве альтернативы обычным методам измерения при проведении физического эксперимента.

## Список литературы

1. Мельников, А.В. Процедура определения полей деформаций в песчаных и глинистых грунтах методом PIV / А.В. Мельников. – Пенза: ООО НПП «Геотек», 2012. – 25 с.
2. Болдырева, О.В. Консольные опоры ригелей многоэтажных каркасов. Разрушение по сжатым полосам бетона / О.В. Болдырева, В.А. Комаров, С.А. Болдырев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №4. – С. 70–74.
3. Комаров, В.А. Разрушение по сжатым полосам бетона консольных опор ригелей многоэтажных каркасов / В.А. Комаров, О.В. Болдырева // Бетон и железобетон. – 2015. – №3. – С.10–13.
4. Комаров, В.А. Оценка прочности бетона ригелей с подрезкой многоэтажных каркасов / В.А. Комаров, О.В. Болдырева // Строительная механика и расчет сооружений. – 2016. – №4. – С.6–9.
5. Sanal, Irem Particle image velocimetry (PIV) to evaluate fresh and hardened state properties of self compacting fiber-reinforced cementitious composites (SC-FRCCs) / Irem Sanal, Nilüfer Özyurt Zihnioglu, Ardalan Hosseini // Construction and Building Materials. – 2015. – №78. – P. 450–463.
6. Trivedi, N. Investigation on fracture parameters of concrete through optical crack profile and size effect studies / N. Trivedi, R.K. Singh, J. Chattopadhyay // Engineering Fracture Mechanics. – 2015. – №10. – P.119–140.

## References

1. Melnikov, A.V. Procedure for determining strain fields in sandy and clay soils by the method of PIV / A.V. Melnikov. – Penza: ООО NPP «GEOTEK», 2012. – 25p.
2. Boldyreva, O.V. Bracket crossbars multi-storey frames. The destruction in compressed strips of concrete / O.V. Boldyreva, V.A. Komarov, A.S. Boldyrev // Regional architecture and engineering. – 2014. – №4. – P. 70–74.
3. Komarov, V.A. Fracture at the compressed strips of concrete cantilever supports crossbars multi-storey frames / V.A. Komarov, O.V. Boldyreva // Concrete and reinforced concrete. – 2015. – № 3. – P. 10–13.
4. Komarov, V.A. Assessment of the strength of concrete beams with trimming multi-storey frames / V.A. Komarov, O.V. Boldyreva // Structural mechanics and calculation of structures. – 2016. – № 4. – P. 6–9.
5. Sanal, Irem Particle image velocimetry (PIV) to evaluate fresh and hardened state properties of self compacting fiber-reinforced cementitious composites (SC-FRCCs) / Irem Sanal, Nilüfer Özyurt Zihnioglu, Ardalan Hosseini // Construction and Building Materials. – 2015. – №78. – P. 450–463.
6. Trivedi, N. Investigation on fracture parameters of concrete through optical crack profile and size effect studies / N. Trivedi, R.K. Singh, J. Chattopadhyay // Engineering Fracture Mechanics. – 2015. – №10. – P.119–140.

Кременчугский национальный университет  
имени Михаила Остроградского  
39614, Украина, Полтавская обл.,  
г. Кременчуг, ул. Первомайская, 20

**Клюка Елена Николаевна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Геодезия,  
землеустройство и кадастр»

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Чурсин Алексей Иванович**,  
кандидат географических наук, доцент  
кафедры «Землеустройство и геодезия»

*Kremenchug national university of the name  
of Mikhail Ostrogradskii, Kremenchug*  
39614, Ukraine, Poltava region, Kremenchug,  
20, Pervomayskaya St.

**Klyuka Elena Nikolaevna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Geodesy, land management  
and cadastre»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Chursin Aleksey Ivanovich**,  
Candidate of geographic Sciences,  
Associate Professor of the department «Land  
management and geodesy»

## УСОВЕРШЕНСТВОВАННАЯ МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ИЗГИБЕ С КРУЧЕНИЕМ

Е.Н. Клюка, А.И. Чурсин

Разработана методика расчета прочности пространственных сечений обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного сечения при изгибе с кручением на основании деформационной модели.

*Ключевые слова: железобетонные конструкции, изгиб с кручением, методика, расчету, несущая способность, прямоугольный профиль, пространственное сечение, одиночное армирование, деформационная модель*

## AN IMPROVED METHOD OF CALCULATION REINFORCED CONCRETE STRUCTURES UNDER BENDING AND TORSION

E.N. Klyuka, A.I. Chursin

The method of calculating the strength of spatial sections of reinforced concrete elements with rectangular section under bending with torsion on the basis of deformation model is developed.

*Keywords: reinforce-concrete constructions, bend with twisting, methodology, to the calculation, bearing strength, rectangular profile, spatial section, single re-enforcement, deformation model*

Среди многих элементов железобетонных конструкций различных форм поперечного сечения (прямоугольник, тавр, двутавр и др.), работающих в условиях сложных силовых воздействий, особое место занимают изгибаемые элементы, работающие в условиях совместного изгиба (косого изгиба) и кручения. По мере развития теории бетона и железобетона, базирующейся на исследованиях, выполненных в конце пятидесятых – начале шестидесятых годов прошлого столетия в научно-исследовательском институте бетона и железобетона (НИИЖБ) под руководством проф. Гвоздева А.А., были разработаны нормы по расчету и конструированию обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного сечения, работающих на косоугольный изгиб и изгиб с кручением; впоследствии данные нормы корректировались и дополнялись. Согласно принятым в 1984 г. международным, в 2002 г. белорусским, в 2003 г. российским, а в 2011 г. украинским нормативным документам, расчет проч-

ности поперечных сечений железобетонных элементов под действием внешней нагрузки необходимо выполнять на основании деформационной модели, в соответствии с которой напряжения по высоте сжатой зоны бетона распределяются по криволинейному закону.

Следует отметить, что все вышеперечисленные нормативные документы при выборе расчетной схемы железобетонного элемента, работающего в условиях совместного воздействия изгибающего и крутящего моментов, независимо от формы его поперечного сечения рекомендуют:

- сжатую зону бетона располагать по линии, соединяющей концы наклонной трещины разрушения на противоположных гранях сечения;
- учитывать только продольную рабочую арматуру, расположенную у противоположной сжатию грани сечения и только одну ветвь поперечной арматуры, расположенной у этой грани.

С этими рекомендациями трудно согласиться, так как расположение сжатой зоны бетона по предложенной схеме будет находиться в прямой зависимости только от размеров и формы поперечного сечения элемента: с их увеличением и усложнением (прямоугольник → тавр → двутавр) угол наклона  $\alpha$  сжатой зоны к продольной оси элемента будет уменьшаться, достигая 12-10°, а, как известно, при «чистом» кручении он равен 45°, при «чистом» изгибе (косом изгибе) – 90°, а при совместном действии изгибающего и крутящего моментов он, естественно, будет находиться в пределах  $45^\circ < \alpha < 90^\circ$ .

Выполненные в семидесятые годы прошлого столетия под руководством проф. М.С. Торяника (Полтавский ИСИ, Украина) обширные экспериментально-теоретические исследования работы обычных и преднапряженных железобетонных элементов разных форм поперечного сечения при изгибе (косом изгибе) с кручением позволили установить, что:

- разрушение элемента происходит по пространственному сечению (гипотеза плоских сечений при изгибе (косом изгибе) с кручением недействительна), когда сжатая зона бетона располагается не по линии, соединяющей концы наклонной трещины разрушения на противоположных гранях сечения, а под некоторым углом  $\alpha$  к продольной оси элемента, величина которого зависит только от соотношения крутящего и изгибающего моментов  $\psi = T : M_d$  и определяется по экспериментально-теоретической зависимости

$$\alpha = \arctg(1 + 1/5 \psi), \quad (1)$$

т.е. не зависит от формы и размеров поперечного сечения. Эта зависимость соответствует двум экстремальным случаям: «чистому» кручению, когда  $\alpha = 45^\circ$ , и «чистому» изгибу (косому изгибу), когда  $\alpha = 90^\circ$ ;

- к моменту разрушения элемента напряжения достигают предела текучести не только в продольной рабочей арматуре и ветви поперечной арматуры, расположенной у наиболее растянутой грани сечения, но и в перпендикулярных ветвях поперечной арматуры, что свидетельствует о совместном участии их в работе на кручение.

В работе [1] изложены основные предпосылки разработки методики расчета прочности пространственных сечений обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного профиля с одиночным армированием, которые испытывают совместное воздействие изгибающего и крутящего моментов, на основе деформационной модели. Преимущества нелинейной деформационной модели расчета заключаются в том, что применение уравнения механического состояния позволяет учитывать нелинейность деформирования и, как следствие, криволинейную эпюру напряжений сжатого бетона (рис. 1), которая соответствует реальной физической модели работы бетона как неоднородного материала. Реальный характер деформирования бетона в пределах нисходящей ветви дает возможность учитывать процесс релаксации напряжений бетона и их перераспределение: с более деформированных на менее деформированные и менее напряженные фибры сечения, а также на продольную сжатую арматуру, напряжения которой при этом могут существенно расти. При этом

более деформированные фибры сечения, напряжения в которых достигли  $f_{cd}$ , могут работать в условиях нисходящей ветви диаграммы  $\sigma_c$ - $\varepsilon_c$ , то есть напряжения таких фибр снижаются, а в менее деформированных и менее напряженных фибрах, расположенных ближе к нейтральной оси, увеличиваются.

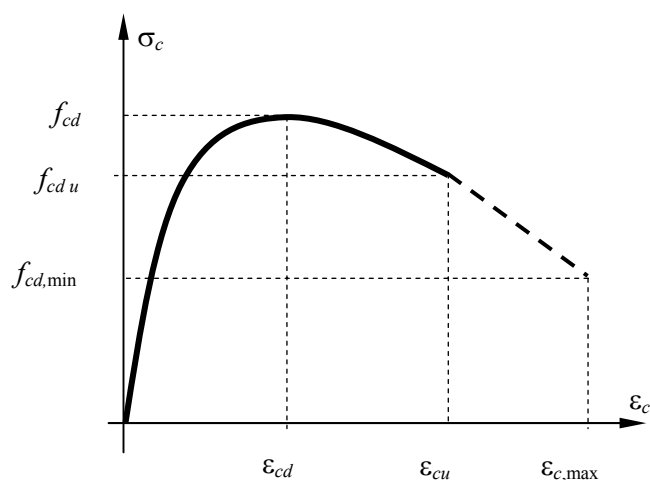


Рис. 1. Диаграмма деформирования бетона и ее характерные точки

При этом расположение сжатой зоны бетона предлагается определять по зависимости (1) и учитывать как продольную, так и три ветви поперечной арматуры, пересеченной наклонной трещиной разрушения.

Следует отметить, что в изгибаемых элементах, при наличии крутящих моментов, обязательно необходимо устраивать закрытые хомуты, расположенные по периметру сечения, для восприятия растягивающих усилий, вызванных крутящим моментом от внешней нагрузки.

Целью этой работы является корректировка методики, разработанной и представленной в [1]. Эта методика расчета базируется на предлагаемой расчетной схеме (рис. 2, 3), в которой криволинейная эпюра напряжений в сжатой зоне бетона высотой  $x_f$  заменяется прямоугольной эпюрой с условной высотой  $x \leq x_f \leq x_{fR}$ , где  $x_{fR}$  – предельная высота сжатой части сечения с равномерным распределением сжимающих напряжений  $f_{cd}$ .

Равнодействующую сжимающих усилий в бетоне, при прямоугольной эпюре напряжений, предлагается определять по формуле

$$N_{cd} = f_{cd} (b / \sin \alpha) d \xi_R, \quad (2)$$

где  $\xi_R$  – относительная высота укороченной сжатой зоны  $x$ , определяется по формулам, представленным в работе [1].

Для определения места расположения нейтральной оси в поперечном сечении элемента, подверженного совместному воздействию изгибающего и крутящего моментов, используют условие  $\sum X = 0$ , где  $\sum X$  – сумма проекций всех усилий на ось, проходящую через центр тяжести сжатой зоны бетона нормально ее плоскости. Это условие для рассматриваемого расчетного случая в развернутом виде записывается следующим образом:

$$f_{yd} A_s \sin \alpha - f_{cd} b x / \sin \alpha = 0, \quad (3)$$

откуда высоту сжатой от изгиба зоны бетона определяют по формуле

$$x = N_s \sin^2 \alpha / f_{cd} b, \quad (4)$$

в которой

$$N_s = f_{yd} A_s. \quad (5)$$



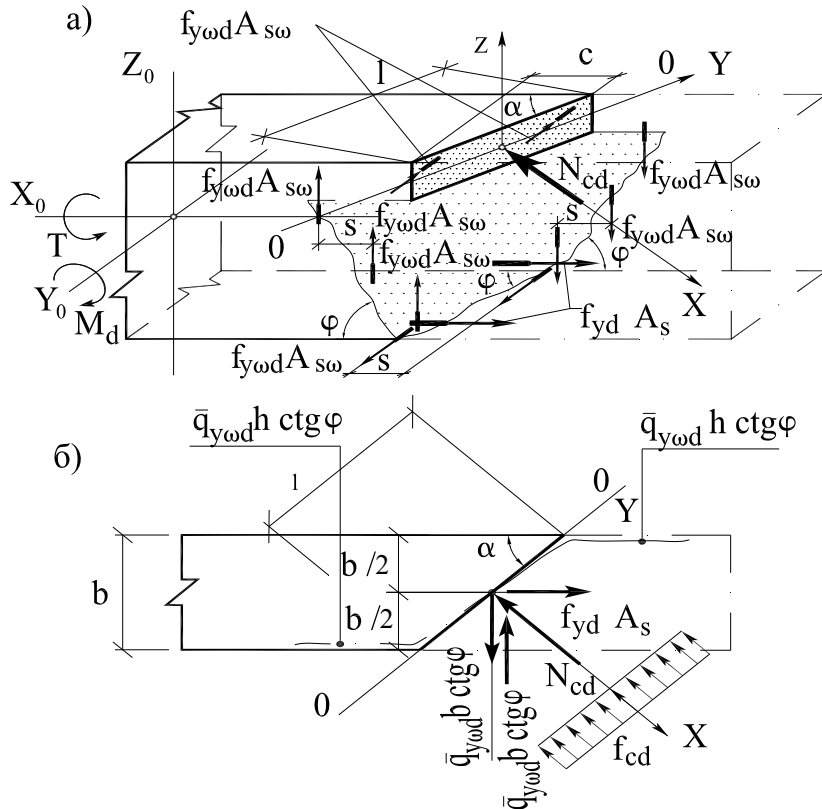


Рис. 2. Предлагаемая расчетная схема для определения несущей способности обычно армированного железобетонного элемента прямоугольного поперечного сечения с одиночной арматурой при изгибе с кручением на основе деформационной модели с учетом всех ветвей поперечной арматуры:  
 а – аксонометрический вид предлагаемой расчетной схемы; б – горизонтальная проекция железобетонного элемента

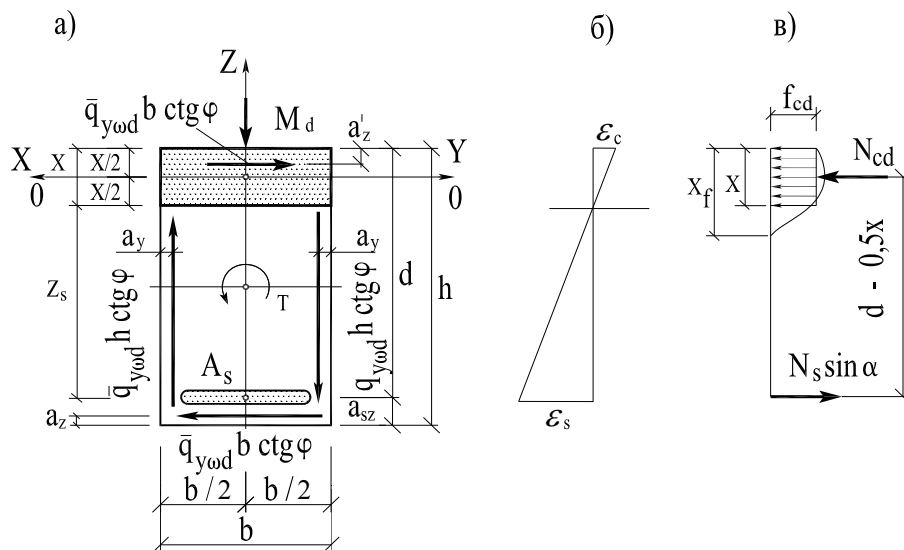


Рис. 3. К предлагаемой расчетной схеме для определения несущей способности обычно армированного железобетонного элемента прямоугольного поперечного сечения с одиночной арматурой при изгибе с кручением на основе деформационной модели с учетом всех ветвей поперечной арматуры:  
 а – поперечное сечение железобетонного элемента; б – эпюра деформаций;  
 в – эпюра внутренних усилий в поперечном сечении

После этого находят относительную высоту сжатой зоны бетона:

$$\xi = x / d \leq \xi_R. \quad (6)$$

Если условие (6) выполняется, то за развернутой формой условия предельного равновесия  $\sum M_{o-o} = 0$ , где  $\sum M_{o-o}$  – сумма моментов всех внешних и внутренних усилий относительно оси  $O - O$ , проходящей через точку приложения равнодействующей сжимающих усилий в бетоне параллельно нейтральной оси, лежащей в плоскости сжатой зоны бетона, которая имеет следующий вид:

$$M_d \sin \alpha + T \cos \alpha = f_{yd} A_s \sin \alpha (d - 0,5x) + \bar{q}_{ywd} b \operatorname{ctg} \varphi \cos \alpha (h - a_z - a'_z) - \bar{q}_{ywd} h^2 \operatorname{ctg} \varphi \sin \alpha, \quad (7)$$

определяют несущую способность пространственного сечения элемента по формуле

$$M_d = [M_s + M_{swb} \operatorname{ctg} \alpha - M_{swh}] / (1 + \psi \operatorname{ctg} \alpha), \quad (8)$$

в которой:

$$\begin{aligned} M_s &= N_s (d - 0,5x), \\ M_{swb} &= N_{swb} x_{swb}, \\ N_{swb} &= \bar{q}_{ywd} b \operatorname{ctg} \varphi, \\ \bar{q}_{ywd} &= f_{ywd} A_{sw} / s, \\ x_{swb} &= h - a_z - a'_z, \\ M_{swh} &= N_{swh} b_{swh}, \\ N_{swh} &= \bar{q}_{ywd} h \operatorname{ctg} \varphi, \\ b_{swh} &= h \sin \alpha. \end{aligned}$$

После этого, исходя из зависимости  $\psi = T : M_d$ , на основании вычисленного по формуле (8) значения изгибающего момента  $M_d$ , определяют величину крутящего момента  $T$ , что воспринимается пространственным сечением, по формуле

$$T = \psi M_d.$$

При этом угол наклона трещин разрушения к продольной оси элемента  $\varphi$  при совместном действии крутящего  $T$  и изгибающего  $M_d$  моментов, на основании экспериментальных данных авторов этой работы, принимается равным  $45^\circ$ .

Если условие (6) не выполняется, то принимают  $\xi = \xi_R$  и расчет повторяют по вышеизложенной методике.

**Вывод.** Разработана методика расчета прочности пространственных сечений обычно армированных железобетонных элементов прямоугольного сечения с одиночным армированием. Она позволяет учитывать как продольную, так и все четыре ветви поперечной арматуры при совместном действии изгибающего и крутящего моментов на основании деформационной модели в развитие методики, изложенной в работе [1].

### Список литературы

1. Клюка, О.М. Розрахунок міцності нормальних перерізів залізобетонних елементів при згині з крученням на основі нелінійної деформаційної моделі: дис. канд. техн. наук за спец. 05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди / О.М. Клюка. – Полтава: Полтавський НТУ ім. Ю. Кондратюка, 2010. – 163 с.

### References

1. Klyuka, A.M. calculation of the strength of normal section of reinforced concrete elements under bending with torsion on the basis of nonlinear deformation model: dis. Cand. of Sciences on spec. 05.23.01 – building constructions, buildings and structures / M.A. Klyuka. – Poltava: Poltava national technical University im. Yu. Kondratyuka, 2010. – 163 p.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Гучкин Игорь Сергеевич**,  
кандидат технических наук, профессор  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Артюшин Дмитрий Викторович**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Ласьков Николай Николаевич**,  
доктор технических наук, профессор, зав.  
кафедрой «Строительные конструкции»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Коновалов Павел Владимирович**,  
студент

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Guchkin Igor Sergeevich**,  
Candidate of Sciences, Professor  
of the department «Building structures»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Artyushin Dmitriy Viktorovich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Building structures »  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Laskov Nikolay Nikolaevich**,  
Doctor of Sciences, Professor,  
Head of the department «Building structures»  
E-mail: stroyconst@pguas.ru

**Konovalov Pavel Vladimirovich**,  
student

## ПРИЧИНЫ ОБРАЗОВАНИЯ ТРЕЩИН В РОСТВЕРКЕ И ЦОКОЛЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА

И.С. Гучкин, Д.В. Артюшин, Н.Н. Ласьков, П.В. Коновалов

Анализируются причины образования трещин в монолитном ленточном ростверке свайного фундамента, а также стене цоколя многоэтажного жилого дома. Исследуются гидрогеологические условия строительной площадки, качество бетонирования и армирования ростверка. Приводятся результаты статического и конструкционного расчетов при неравномерной осадке свай. Формулируются выводы и рекомендации.

*Ключевые слова: многоэтажное здание, свайный фундамент, неравномерная осадка, ростверк, цоколь, трещины, статический и конструкционный расчеты*

## ANALYSIS OF CAUSES OF CRACK FORMATION IN GRILLAGE AND BASEMENT OF A MULTI-STORY RESIDENTIAL BUILDING

I.S. Guchkin, D.V. Artyushin, N.N. Laskov, P.V. Konovalov

The reasons for the formation of cracks in a monolithic strip grillage of a pile foundation and walls of the basement of a multi-story residential building are analyzed. The hydrogeological conditions of the construction site, the quality of concreting and reinforcement of grillage are investigated. The results of static and structural calculations for uneven draft of piles are presented. Conclusions and recommendations are formed.

*Keywords: multi-story building, pile foundation, uneven draft, grillage, basement of a building, cracks, static and structural calculations*

Образование трещин в ростверке свайного фундамента и цоколе здания – явление достаточно распространенное [1,2, 3]. Причин для этого много: это неравномерная осадка свай, брак при бетонировании ростверка, усадка и замораживание бетона в раннем возрасте, нагружение ростверка, когда бетон еще не набрал достаточной прочности, и пр.

Обследование и анализ напряженного состояния ростверка и цоколя строящегося жилого дома в г. Пензе позволили выявить еще одну серьезную причину образования горизонтальных трещин в ростверке, которая обычно ускользает от внимания инже-

нерной службы и проектировщиков и недооценивается, а именно влияние конструкции узла сопряжения ростверка со сваями на картину трещинообразования в ростверке и его несущую способность.

Строительство 10-этажной рядовой блок-секции жилого дома начиналось с забивки свай в августе 2015 года. В ноябре того же года после предварительной откачки воды из котлована в сборно-щитовой опалубке при среднесуточной температуре наружного воздуха  $-2,5^{\circ}\text{C}$  ( $-2^{\circ}\text{C}$ ;  $-3^{\circ}\text{C}$ ) производилось бетонирование с электропрогревом ростверка торцевой стены по оси 1с/Ас-Вс. После набора бетоном прочности возводилась двухслойная стена из фундаментных железобетонных панелей и каменной кладки (бетонные блоки – 3 ряда, выше – силикатный кирпич). Монтаж строительных конструкций блок-секции завершился в сентябре 2016 года. В конце августа 2016 г. при осмотре конструкции цоколя в ростверке и стене техподполья ряда обнаружены трещины различной направленности: в ростверке – горизонтальные, а в фундаментных панелях и каменной кладке (блоках) – вертикальные и наклонные. В сентябре 2016 г. на вертикальных трещинах каменной кладки были установлены контрольные маяки. Наблюдения за картиной трещин (сентябрь-октябрь 2016 г.) и контрольными маяками позволили выявить, что трещины практически не росли за исключением одной вертикальной в бетонном блоке 2-го ряда, в осях Бс-Вс, где маяк показал разрыв. Кроме того, в ростверке на внутренней боковой поверхности появилась новая горизонтальная трещина.

По результатам инженерных изысканий, современные физико-геологические процессы в зоне строительства проявляются в подтапливании территории подземными водами и затапливании пониженных участков поверхностными водами в период интенсивного снеготаяния и затяжных дождей, что приводит к заболачиванию территории.

По потенциальной подтопляемости территория относится к постоянно подтопляемой в естественных условиях (I-A-1).

На обследуемом участке установлено 6 инженерно-геологических элементов, различающихся по своим физико-механическим свойствам: ИГЭ-1 – насыпной грунт; ИГЭ-2 – почвенно-растительный слой; ИГЭ-3 – глина аллювиально-биогенная, мягкопластичная; ИГЭ-4 – глина текучепластичная с примесью торфа; ИГЭ-4а – глина мягкопластичная с примесью торфа; ИГЭ-5 – глина элювиальная, полутвердая; ИГЭ-6 – глина коренная, полутвердая.

Из анализа приведенных данных следует, что неблагоприятными условиями для строительства являлись наличие большой мощности слабых мягкопластичных и текучепластичных глин, а также подтапливание территории подземными и поверхностными водами, способствующими неравномерной осадке фундаментов.

Фундамент дома по оси 1с/Ас-Вс свайный с ленточным ростверком. Сваи сборные железобетонные (бетон класса В25, F100, W6) квадратного сечения  $300 \times 300$  мм, длиной 15(16) м марки С 150.30-СВ-4 (С 160.30-СВ-4), соответствующие серии 1.011.1-10 в.8. Фрагмент плана свай по оси 1с/Ас-Вс показан на рис. 1.

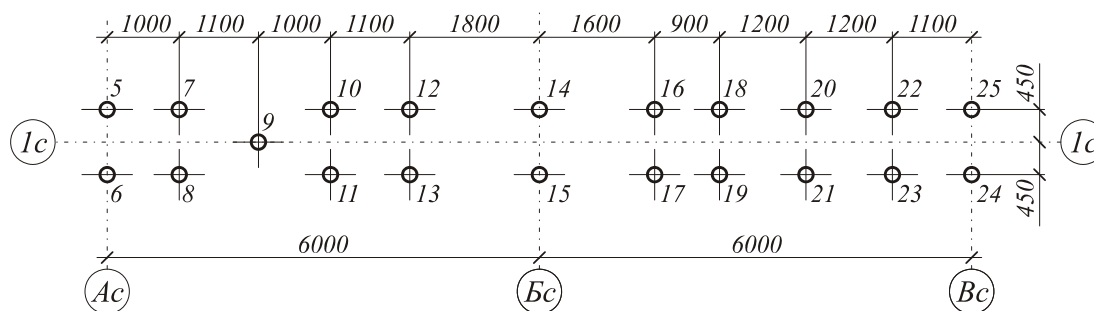


Рис. 1. Фрагмент плана свай по оси 1с/Ас-Вс

Ростверк ленточный монолитный железобетонный сечением  $1500 \times 400$  мм. Ростверк армируется пространственными сварными каркасами. Армирование ростверка в

поперечном сечении показано на рис. 2. Сопряжение свай с ростверком жесткое и обеспечивается запуском рабочей арматуры в ростверк на глубину 250 мм, а с учетом запуска головы сваи – на 300 мм.

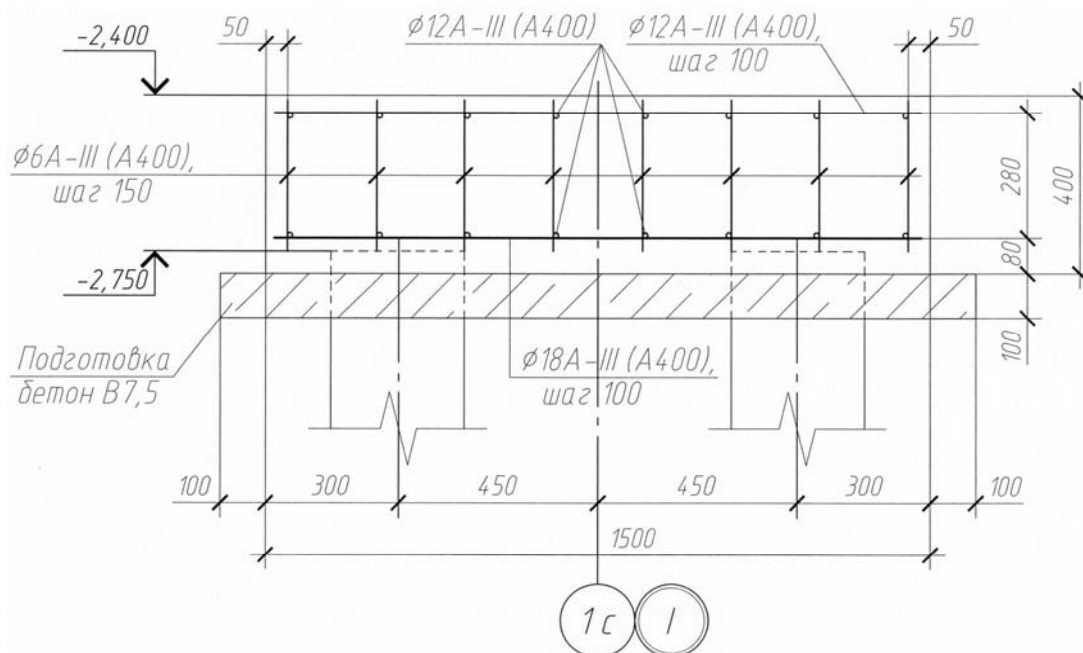


Рис. 2. Армирование ростверка в поперечном сечении

Проектный класс бетона ростверка В15 (М200) – кубиковая прочность  $200 \text{ кг/см}^2$ . По данным завода-изготовителя, бетонная смесь запроектирована под класс В20, F75, W4П4. Смесь готовилась с использованием портландцемента ПАО «Мордовцемент» марки 500 –  $290 \text{ кг/м}^3$ , щебень фракции до 20 мм. Добавки:

- суперпластификатор – Кратасол ПФМ –  $1,5 \text{ кг/м}^3$  смеси;
- противоморозная добавка – Кратасол КРИО –  $5,8 \text{ кг/м}^3$  смеси.

Температура применения до  $-5^\circ\text{C}$ .

На строительную площадку бетонная смесь поступила с температурой  $+17^\circ\text{C}$  при температуре наружного воздуха  $-2^\circ\text{C}$ . Общий объем поставленной бетонной смеси –  $23 \text{ м}^3$ . Расход смеси на армирование ростверка по оси 1с/Ас-Вс составил примерно  $8 \text{ м}^3$ . Разрывы в поставке бетонной смеси отсутствовали.

Бетонирование ростверка производилось в ноябре 2015 г. в разборно-щитовой опалубке. По окончании бетонирования выполнялась коммутация электродов электропрогрева. Температура и сроки электропрогрева, а также результаты набора прочности бетоном в условиях электропрогрева в журнале производства работ отсутствовали.

Ростверк нагружался с возраста 5 суток, когда прочность бетона с учетом зимнего бетонирования предположительно была невысокой. Раннее нагружение и вероятное промораживание ростверка могли негативно сказаться на трещиностойкости бетона и способствовать развитию усадочных и термических трещин.

Под ленточным ростверком – двухрядное расположение свай. Эксплуатационная расчетная равномерно распределенная нагрузка на ростверк  $q = 595,5 \text{ кН/п.м}$ . Расчетная схема ростверка в продольном направлении принята в виде неразрезной многопролетной балки.

Расчетные изгибающие моменты:

- в пролете  $M_{пр} = 2,41 \text{ кН}\cdot\text{м}$ ;
- над опорами (сваями)  $M_{оп} = -20,43 \text{ кН}\cdot\text{м}$ .

Конструкционный расчет ростверка, выполненный в соответствии с СП 52-101–2003 [4], показал:

- требуемая площадь рабочей арматуры в пролете  $A_s = 21 \text{ мм}^2$ ;

– то же над опорами  $A'_s=184 \text{ мм}^2$ .

Фактически в пролете и над опорами принята арматура площадью  $A_{s,\phi}=452 \text{ мм}^2$  ( $4\text{Ø}12\text{A}400$ ), т.е. имеется значительный запас прочности.

Поперечная арматура в пространственном каркасе  $\text{Ø}6\text{A}400$  (шаг 150 мм) назначена конструктивно и соответствует требованиям СНиП 52-01-2003 [5]. Прочность ростверка по сжатой полосе и наклонной трещине гарантирована.

В поперечном направлении ростверк не рассчитывался, однако при двухрядном расположении свай и их жестком сопряжении с ростверком расчет был необходим. Рассмотрим расчетную схему ростверка в поперечном направлении при эксплуатационной нагрузке (рис. 3, а) и при неравномерной осадке одной из свай (опор), рис. 3, б.

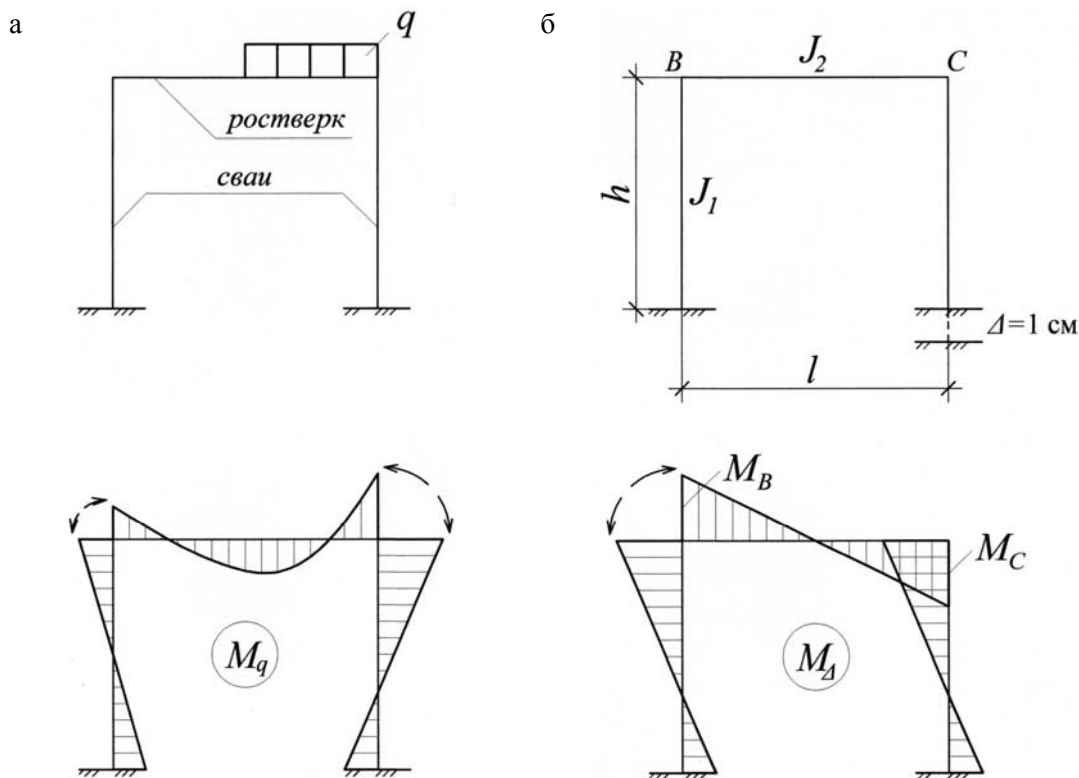


Рис. 3. Расчетные схемы ростверка в поперечном направлении:  
а – от вертикальной нагрузки; б – от осадки опоры (свай)

Из эпюр моментов видно, что в ростверке и оголовке свай возникают изгибающие моменты, растяжение от которых должно восприниматься рабочей арматурой, надежно заанкеренной в бетоне. В противном случае в ростверке (и оголовке свай) при значительных величинах изгибающих моментов будут появляться горизонтальные трещины. Это подтверждается расчетом трещиностойкости ростверка при разности осадок  $\Delta=1 \text{ см}$  и прогиба  $f=0$ .

*Исходные данные:*

$b_c = h_c = 30 \text{ см}$ ;  $b_p = 150 \text{ см}$ ;  $h_p = 40 \text{ см}$ ;  $l = 90 \text{ см}$ ;  $h = 1500 \text{ см}$ ;  $\Delta = 1 \text{ см}$ ;  $f = 0$ .

*Решение:*

$$J_1 = \frac{b_c h_c^3}{12} = \frac{30 \cdot 30^3}{12} = 6,75 \cdot 10^4 \text{ см}^4; \quad J_2 = \frac{b_p h_p^3}{12} = \frac{150 \cdot 40^3}{12} = 80 \cdot 10^4 \text{ см}^4;$$

$$i_1 = \frac{J_1}{h} = \frac{6,75 \cdot 10^4}{1500} = 45; \quad i_2 = \frac{J_2}{l} = \frac{80 \cdot 10^4}{90} = 8888,89;$$

$$k = \frac{1}{i_1 + i_2} = \frac{1}{45 + 8888,89} = 0,00011.$$

Согласно [4] для тяжелого бетона класса В20 (в запас)

$$E_b = E = 27,5 \cdot 10^3 \text{ МПа} = 27,5 \cdot 10^2 \text{ кг/см}^2; R_{btm} = 1,35 \text{ МПа} = 13,5 \cdot 10^2 \text{ кг/см}^2.$$

$$M_C = \frac{3Ei_2}{hl} [fik + h(2 - i_2k)] = \frac{3 \cdot 27,5 \cdot 10^2 \cdot 8888,89}{1500 \cdot 90} \cdot [0 + 1500 \cdot (2 - 8888,89 \cdot 0,00011)] = 832921,8 \text{ кг}\cdot\text{см}.$$

Проверка условия трещиностойкости:

$$M_C \leq R_{btm} W_p,$$

где  $W_p = \frac{b_p h_p^2}{6} = \frac{150 \cdot 40^2}{6} = 40000 \text{ см}^3$ ;  $R_{btm}$  – расчетное сопротивление бетона при растяжении при расчете по второй группе предельных состояний;  $832921,8 \text{ кг}\cdot\text{см} > 13,5 \cdot 40000 = 540000 \text{ кг}\cdot\text{см}$  – условие не выполняется, т.е. трещины образуются.

Необходимо отметить, что при раскрытии трещин может измениться расчетная схема ростверка и жесткое сопряжение со сваями в случае текучести или обрыва (проскальзывания) арматуры приблизится к шарнирному, одновременно увеличится пролетный момент, что грозит разрушением.

Обследованию строительных конструкций предшествовало ознакомление с картиной трещин в ростверке и стене техподполья в осях 1с/Ас-Вс (09.2016 г.), рис. 4.

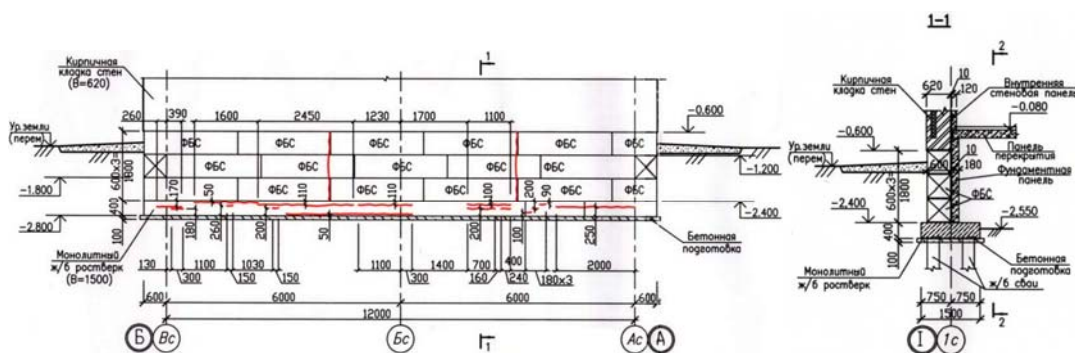


Рис. 4. Картина трещин в ростверке и стене техподполья в осях 1с/Ас-Вс (09.2016 г.)

Обследование с использованием измерительных приборов (11.2016 г.), выполненное сотрудниками ПГУАС, позволило уточнить картину трещин, выделить наиболее значимые трещины с указанием ширины раскрытия, положения и состояния контрольных маяков. Результаты натурного обследования представлены на картине трещин (рис. 5). Из сопоставления картин трещин (см. рис. 4 и 5) видно следующее:

- В ростверке отсутствуют новые трещины, однако продолжается раскрытие старых горизонтальных трещин на внутренней поверхности, о чем свидетельствовали показания 5 контрольных маяков. Ширина раскрытия трещин составила 1,5...3,5 мм.
- В блочной кладке стены техподполья вертикальные трещины получили продолжение в кирпичную кладку 1-го этажа на высоту до 1,7 м. Максимальная ширина раскрытия трещины в блочной кладке составила до 3,5 мм, в кирпичной – до 1,0 мм.
- В фундаментных панелях новые трещины не выявлены, контрольные маяки, установленные на имеющихся трещинах, на момент обследования повреждений не имели. Ширина раскрытия наклонных трещин в фундаментных панелях 1,0...1,5 мм.

Из анализа картин трещин и показаний контрольных маяков следует, что за период с 09.2016 г. по 11.2016 г. горизонтальные трещины в ростверке продолжали раскрываться, вертикальные и наклонные трещины в стене техподполья по оси 1с/Ас-Вс практически не раскрылись, однако несколько увеличилась их длина.

Прочность бетона в ростверке и элементах техподполья определялась в ноябре 2016 г. и оценивалась ударно-импульсным методом с помощью универсального прибора марки ОНИКС-2.5. Величина прочности находилась по дисплею прибора,

запрограммированного с учетом направления удара, вида бетона и его возраста. Количество измерений на каждой конструкции принималось не менее десяти. При этом крайние значения отсчетов отбрасывались, а за искомую прочность принималась средняя величина по результатам оставшихся измерений.

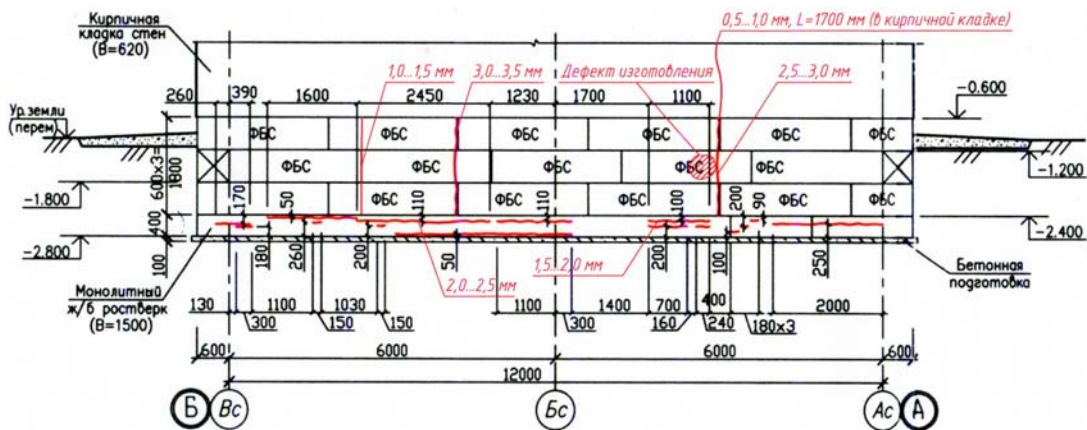


Рис. 5. Картина трещин в ростверке и стене техподполья в осях 1с/Ас-Вс (11.2016 г.)

Результаты определения прочности бетона сведены в таблицу.

Прочность бетона железобетонных конструкций

| № п/п | Вид конструкции          | Координаты конструкции (рис. 1) | Прочность бетона R, кгс/см <sup>2</sup> | Марка бетона | Класс бетона |
|-------|--------------------------|---------------------------------|---|--------------|--------------|
| 1     | Ростверк                 | 1с/Ас-Бс (вблизи Ас)            | 204                                     | M200         | B15          |
| 2     |                          | 1с/Бс-Вс (вблизи Бс)            | 230                                     | M200         | B15          |
| 3     |                          | 1с/Бс-Вс                        | 234                                     | M200         | B15          |
| 4     |                          | 1с/Вс-Бс (вблизи Бс)            | 207                                     | M200         | B15          |
| 5     |                          | 1с/Бс-Ас                        | 219                                     | M200         | B15          |
| 6     | Фундаментные блоки (ФБС) | 1с/Вс-Бс (1-ый ряд)             | 213                                     | M200         | B15          |
| 7     |                          | 1с/Вс-Бс (3-й ряд)              | 181                                     | M150         | B12,5        |
| 8     |                          | 1с/Бс-Ас (1-ый ряд)             | 197                                     | ≈M200        | B15          |
| 9     |                          | 1с/Бс-Ас (3-й ряд)              | 146                                     | ≈M150        | B10          |
| 10    |                          | 1с/Бс-Ас (3-й ряд)              | 165                                     | M150         | B12,5        |
| 11    | Фундаментные             | 1с/Ас-Бс                        | 342                                     | M300         | B25          |
| 12    | панели                   | 1с/Бс-Вс                        | 344                                     | M300         | B25          |

Из таблицы следует, что прочность тяжелого бетона ростверка соответствует марке M200 (классу B15); фундаментных блоков – маркам M150÷200 (классам B10÷15); фундаментных панелей – марке M300 (классу B25). Полученные марки (классы) бетона конструкций в целом соответствуют проектным значениям.

Выводы

Комплексное визуально-инструментальное обследование блок-секции 10-этажного жилого дома показало:

1. В основании свайного фундамента залегают большой мощности слабые мягко-ластичные и текучепластичные глины. Имеет место периодическое подтапливание территории подземными и поверхностными водами.

2. Причиной неравномерной осадки свай явились сложные гидрогеологические условия строительной площадки и одностороннее нагружение ростверка в поперечном направлении (см. рис. 3,а).

3. Причиной образования вертикальных и наклонных трещин в стене техподполья оказалась неравномерная по длине ростверка осадка свайного фундамента. По косвенным признакам (согласно картине трещин) чрезмерную относительную осадку имеют сваи №10, №11, №18, №19.



4. Причиной образования и раскрытия горизонтальных трещин в ростверке явилось наличие вертикальных растягивающих напряжений от изгибающих моментов поперечного направления (характерно для двухрядного размещения свай и их жесткого сопряжения с ленточным ростверком) и отсутствие необходимой анкерной рабочей арматуры в опорной зоне ростверка. Растягивающие напряжения в ростверке  $\sigma_{bt}$  возникают как при действии нагрузки от стены (см. рис. 3,а), так и при разной осадке свай (см. рис. 3,б). Фактом образования трещин является невыполнение условия прочности бетона на растяжение  $\sigma_{bt} < R_{btm}$ .

5. Условиями, способствующими образованию и раскрытию горизонтальных трещин в ростверке, могли быть: виброуплотнение бетонной смеси через арматурный каркас; низкая прочность бетона на момент распалубки; цикличное замораживание поверхностных слоев бетона в зимний период; усадка бетона.

6. Прочность бетона ростверка, фундаментных блоков и панелей техподполья соответствует проекту (не повлияла на картину образования и раскрытия трещин).

#### Рекомендации

При двухрядном расположении свай и их жестком сопряжении с ростверком необходимо выполнять расчет ростверка на изгиб в поперечном направлении; расчет длины анкерной рабочей арматуры в опорной зоне.

#### Список литературы

1. Баранова, Т.И. Инженерные методы восстановления поврежденных конструкций в период строительства железобетонных каркасных зданий / Т.И. Баранова, И.С. Гучкин, Д.В. Артюшин, Д.В. Попов // Региональная архитектура и строительство. – 2008. – № 2. – С. 32–34.
2. Ласьков, Н.Н. Совершенствование нормативного метода расчета стен при различных схемах армирования / Н.Н. Ласьков, Д.А. Лебедев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2012. – № 1 (40). – Ч. 1. – С. 197–200.
3. Ласьков, Н.Н. Совместная работа разнодеформируемых продольных и поперечных стен при различных схемах нагружения вертикальной нагрузкой / Н.Н. Ласьков, Д.А. Лебедев, И.И. Мустафин // Безопасность и эффективность строительных конструкций: сборник статей Международной научно-технической конференции. – Пенза: ПДНТЗ, 2012. – С. 136–138.
4. СП 52-101-2003. Бетонные и железобетонные конструкции из тяжелого бетона без предварительного напряжения арматуры. Свод правил. – М.: ФГУП ЦПП, 2004.
5. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 24 с.

#### References

1. Baranova, T.I. Engineering methods of repairing damaged structures during the construction of reinforced concrete frame buildings / T.I. Baranova, I.S. Guchkin, D.V. Artjushin, D.V. Popov // Regional architecture and engineering. – 2008. – No. 2. – P. 32–34.
2. Lasikov, N.N. The improvement of the normative method of the calculation sewer under different scheme armature / N.N. Lasikov, D.A. Lebedev // Notify South-West state universities. – 2012. – № 1 (40). – CH. 1. – P. 197–200.
3. Lasikov, N.N. Collaboration of deformed longitudinal and transverse sewer under different scheme of vertical load / N.N. Lasikov, D.A. Lebedev, I.I. Mustafin // Safety and efficiency building design: collection of articles of International research conference. – Penza: PDNTZ, 2012. – P. 136–138.
4. SP 52-101-2003. Concrete and reinforced concrete structures made of heavy concrete without prestressing reinforcement. Set of rules. – M.: FGUP CPP, 2004.
5. SNIP 52-01-2003. Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. – M.: FGUP CPP, 2004. – 24 p.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Депутатов Михаил Анатольевич,**  
проректор по безопасности  
E-mail: dma@pguas.ru

**Гарькин Игорь Николаевич,**  
кандидат исторических наук, директор  
центра практики студентов и содействия  
трудоустройству выпускников  
E-mail: igor\_garkin@mail.ru

**Медведева Линара Марсовна,**  
специалист по учебно-методической  
работе 1-й категории  
E-mail: linara-medvedeva@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Deputatov Michael Anatolovich,**  
Vice-rector for security  
E-mail: dma@pguas.ru

**Garkin Igor Nikolaevich,**  
Candidate of historical sciences, director of  
the Center of students practice and promote  
on of employment of graduates  
E-mail: igor\_garkin@mail.ru

**Medvedeva Linara Marsovna,**  
Specialist on educational and methodical  
work  
E-mail: linara-medvedeva@mail.ru

## РЕАЛИЗАЦИЯ МОЛОДЕЖНОЙ ПОЛИТИКИ В СТРОИТЕЛЬНОМ ВУЗЕ: СОЦИОЛОГИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

М.А. Депутатов, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева

Определены основные показатели и факторы оценки реализации молодежной политики строительного вуза (на примере Пензенского государственного университета архитектуры и строительства). Использованы данные социологического опроса, проводившегося среди студентов.

*Ключевые слова: строительство, вуз, молодежная политика, студенты, трудоустройство*

## IMPLEMENTATION OF YOUTH POLICY IN A CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY: SOCIOLOGICAL ASPECT

M.A. Deputatov, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva

Main indicators and factors for estimating the implementation of the youth policy of civil engineering university (on the example of the Penza State University of Architecture and Construction) are determined. The data of a sociological survey conducted among first-year students are used.

*Keywords: civil engineering university, youth policy, employment, students*

Под воспитательной функцией вуза подразумевается прежде всего реализация на уровне университета государственной молодежной политики, направленной как на раскрытие потенциала, так и на развитие морально-нравственных качеств студентов, патриотизма [1]. Для анализа проводимой молодежной политики сотрудники Центра практики студентов и содействия трудоустройству выпускников Пензенского государственного университета архитектуры и строительства провели социологическое исследование [2]. Его цель – выявление мнения студентов о реализуемой молодежной политике как в стране в целом, так и в вузе в частности. Выборочная совокупность составила 100 человек. Из них юношей – 54 %, девушек – 46 %. Студентов второго курса – 90 %, третьего – 10 %. Основная часть опрошенных: 80 % – студенты инженерно-строительного института, 12 % – технологического факультета, 8 % – института инженерной экологии.

При определении наиболее важных ценностей в жизни студенты могли выбирать несколько вариантов ответов:

- 1) семья – 90 %;
- 2) здоровье – 58 %;
- 3) верные друзья – 28 %;
- 4) любовь – 26 %;
- 5) возможность личной реализации – 19 %;
- 6) интересная работа – 18 %;
- 7) личная свобода – 12 %;
- 8) карьера – 11 %;
- 9) власть – 4 %;
- 10) слава, признание – по 1 %.

В ближайшие пять лет респонденты хотели бы уделять больше внимания: развитию карьеры – 77 %; образованию – 64 %; семейной жизни – 56 %; повышению профессионального мастерства – 35 %; приятному времяпрепровождению – 4 %; общественной работе – 4 %; религии – 4 %.

В выборе суждений респонденты в большинстве выбрали вариант «Мое материальное благополучие в настоящем и будущем зависит, прежде всего, от меня» (72 %). Около трети считают, что «материальных успехов люди должны добиваться сами». Считают, что «преуспевающие должны проявлять гуманность и помогать другим» – 9 %. Лишь 6 % считают, что от них мало что зависит, все определяет экономика страны.

Основными факторами, влияющими на карьеру молодых специалистов, являются: связи и знакомые (28 %), опыт работы (25 %), образование и личные качества (по 23 %), знание современной техники (1 %).

Индикаторами успеха карьеры молодого специалиста основная часть опрошенных считает высокие доходы (47 %) и возможность заниматься любимым делом (31 %). Единицы назвали признание (4 %), возможность приносить пользу обществу (4 %), престижность (3 %). Не смогли сделать выбор 3 %.

Причинами, вызывающими трудности в реализации жизненных планов молодежи, были названы:

- неблагоприятная социально-экономическая ситуация в стране (29 %);
- менталитет молодежи, низкая социальная активность (28 %);
- невостребованность на рынке труда (19 %);
- недостаточное качество образования (10 %);
- отсутствие действенной государственной молодежной политики (5 %);
- законодательство (1 %);
- нехватка рабочих мест (1 %).

Не знают причин 7 % опрошенных.

Интерес к политической и экономической жизни страны проявляют всего 29 %. Опрошенные студенты оказались аполитичными (рис. 1).

По мнению студентов, молодежь в России:

- 1) не оказывает серьезного влияния на жизнь страны – 23 %;
- 2) участвует в государственных объединениях и организациях – 14 %;
- 3) влияет на политическую жизнь через общественные объединения и партии – 11 % (20 % не смогли оценить влияние);
- 4) принимает активное участие в выборах – 10 %;
- 5) участвует в митингах протеста – 10 %;
- 6) участвует в столкновениях и беспорядках – 2 %;
- 7) работает в органах государственной власти – 1 %.

Мнения студентов о том, действует ли проводимая государством политика в интересах молодежи, разделились: считают, что политика действует в интересах молодежи и будущего страны – 12 %, скорее да, чем нет – 39 %; нет – 6 %, скорее нет, чем да – 23 %; не знают – 19 % (рис. 2).

Большинство опрошенных не состоят в каких-либо организациях (71 %). Членами спортивных организаций являются 10 %, клубов по интересам – 6 %, религиозных объединений – 1 %, национальных объединений – 1 %, фан-клубов звезд шоу-бизнеса – 1 %, молодежных студенческих организаций – 3 %.

Подавляющее большинство (70 %) считают себя патриотами России; не считают – 17 %, не знают – 13 % (рис. 3). Опрошенные студенты считают, что патриотизм включает в себя:

- любовь к Родине (44 %);
- гордость за достижения страны (22 %);
- веру в великое будущее государства (10 %);
- знание культуры и языка (8 %);
- исполнение обязанностей гражданина, соблюдение законов (8 %);
- в случае необходимости защиту страны с оружием в руках (5 %).

3 % респондентов затруднились с ответом.

Перспективу будущего видят все опрошенные. Так, получить второе высшее образование планируют 30 % [3, 4]; работать в России – 56 %; работать за рубежом – 15 %; получить дополнительное образование – 11 %; учиться в аспирантуре – 7 %.

Основные трудности трудоустройства связываются со следующими факторами:

- везде требуется опыт работы – 45 %;
- сложно устроиться по профессии – 23 %;
- отсутствие связей – 20 %;
- нехватка информации о рынке труда – 8 %;
- 4 % затруднились с ответом.

Основная часть студентов считают, что государство должно принимать участие в трудоустройстве выпускников (91 %); 9 % – считают, что государство не должно вмешиваться в процесс трудоустройства (рис. 4). При этом респонденты желают получить поддержку в поиске первого рабочего места – 46 %, хотели бы иметь государственные гарантии первого рабочего места – 45 % (среди них большинство девушек).

Наиболее перспективными областями для работы молодежи респонденты считают: строительство (47 %), связь (34 %), торговлю (33 %), спорт (30 %), сельское хозяйство (25 %), промышленность (20 %). Наименее перспективными оказались: наука (11 %), образование (10 %), государственное и муниципальное управление (9 %), здравоохранение (8 %), общественное питание (5 %).

Как видим:

- большинство опрошенных считают себя патриотами, испытывают любовь к Родине и гордость за ее достижения;
- основополагающими ценностями традиционно являются семья, здоровье, материальная обеспеченность, любовь;
- значительная часть студентов плохо следят за социально-экономическим развитием страны и не состоят в политических организациях;
- нет единого мнения об эффективности реализуемой молодежной политики;
- основные планы на ближайшее будущее респонденты связывают с повышением собственного образовательного уровня и развитием карьеры;
- студенты предполагают, что выпускникам сложно устроиться на работу чаще всего из-за недостатка опыта работы и отсутствия связей.

Очевидны: необходимость активизации патриотического элемента в воспитании молодежи; привлечение молодежи к участию в государственной политике [5, 6]; повышение гражданской активности молодого поколения; оптимизация положения выпускников вузов на рынке труда и т.д.

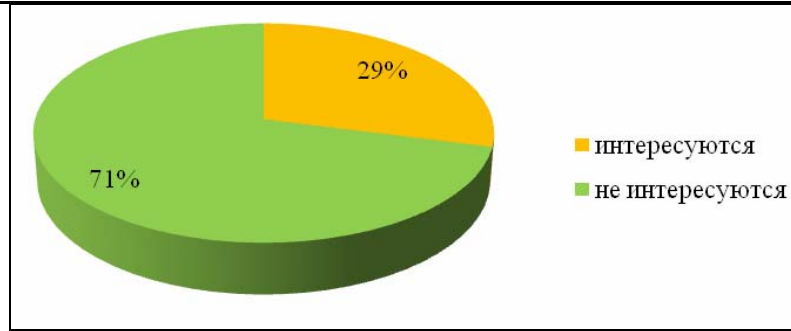


Рис. 1. Результаты опроса по вопросу: «Интересуетесь ли Вы политической и экономической жизнью страны?»

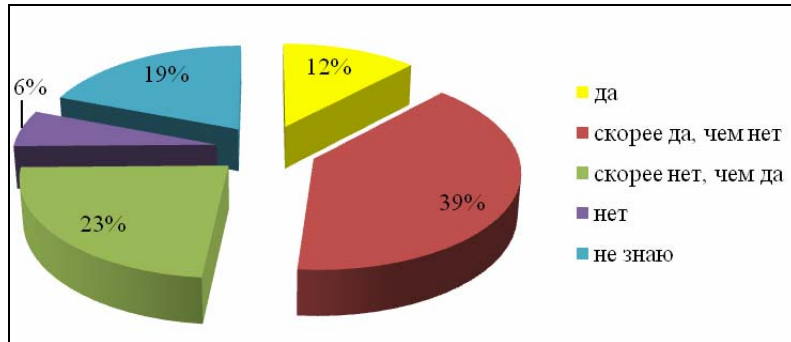


Рис. 2. Мнение студентов по вопросу: «Действует ли проводимая политика в интересах молодежи, будущего страны?»

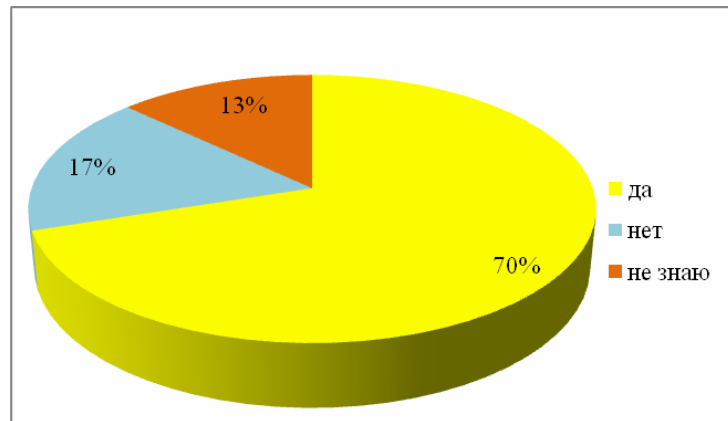


Рис. 3. Ответы респондентов на вопрос: «Считаете ли вы себя патриотом?»

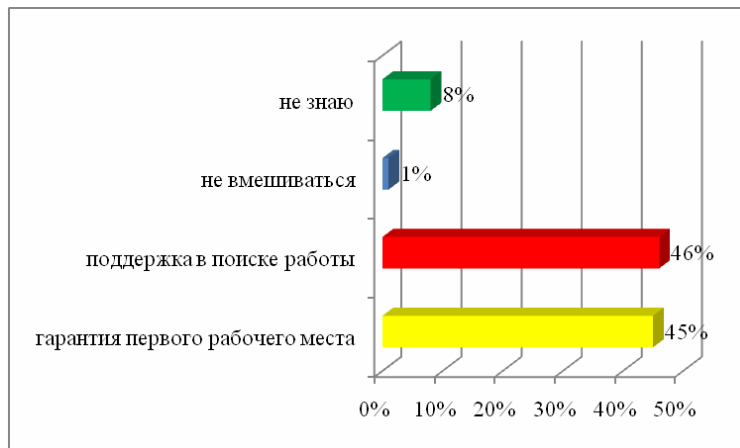


Рис. 4. Мнение студентов о том, какое участие должно принимать государство в трудоустройстве выпускников

## Список литературы

1. Ильясова, А.В. Патриотизм как элемент культуры студенческой молодежи / А.В. Ильясова, О.А. Зингер // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1.
2. Болдырев, С.А. Формы работы центра практики студентов и содействия трудоустройству выпускников / С.А. Болдырев, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №3. – С.187–191.
3. Данилов, А.М. Подготовка бакалавров: компетентностный подход, междисциплинарность / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С.192–199.
4. Болдырев, С.А. Адаптация студентов в строительном ВУЗе: социологический аспект / С.А. Болдырев, И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.84–90.
5. Гарькин, И.Н. Формирование антикоррупционного мировоззрения у студентов вуза / И.Н. Гарькин, Л.М. Медведева, О.М. Назарова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №3. – С.101–104.
6. Данилов, А.М. Вуз как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №3. – С.138–143.

## References

1. Ilyasova, A.V. Patriotism as an element of the culture of student youth. / A.V. Ilyasova, O.A. Zinger // Modern problems of science and education. – 2015. – No. 1–1.
2. Boldirev, S.A. Forms of work of a center of practice of students and graduates employment / S.A. Boldirev, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva // Regional architecture and engineering. – 2016. – №3. – P.187–191.
3. Danilov, A.M. Bachelor competence: approach, interdisciplinary / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2014. – №2. – P.192–199.
4. Boldyrev, S.A. Adaptation of students in a civil engineering university: the sociological aspect / S.A. Boldyrev, I.N. Garkin, L.M. Medvedeva // Regional architecture and engineering. – 2017. – No. 1. – P.8–90.
5. Garkin, I.N. Formation of anti-corruption ideology among university students / I.N. Garkin, L.M. Medvedeva, O.M. Nazarova // Vestnik PGUAS: construction, science and education. – 2016. – №3. – P. 101–104.
6. Danilov, A.M. University as a system / A.M. Danilov, I.A. Garkina, A.A. Kiselev // Regional architecture and engineering. – 2015. – №3. – P.138–143.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Снежкина Ольга Викторовна**,  
кандидат технических наук, доцент  
кафедры «Начертательная геометрия  
и графика»  
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

**Киселев Артем Анатольевич**,  
аспирант  
E-mail: kiselev-volley@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Snezhkina Olga Viktorovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «Descriptive geometry  
and graphics»  
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

**Kiselev Artem Anatolievich**,  
Postgraduate student  
E-mail: kiselev-volley@mail.ru

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

О.В. Снежкина, А.А. Киселев

Предложена многофакторная регрессионная модель для оценки прочности коротких железобетонных балок при изменении пролета среза; процента продольного армирования; прочности бетона; размеров опорных и грузовых площадок. На основе корреляционного анализа установлена связь между результативным признаком и исследуемыми факторами.

*Ключевые слова: железобетонные балки, прочность, пролет среза, процент продольного армирования, корреляционный анализ, регрессия*

## EVALUATION OF STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS FOR EXPERIMENTAL DATA

O.V. Snezhkina, A.A. Kiselev

A multifactorial regression model is proposed for estimating the strength of short reinforced concrete beams when the shear span is changed; Percent longitudinal reinforcement; Strength of concrete; Sizes of supporting and cargo areas. On the basis of the correlation analysis, a relationship is established between the resultant trait and the factors studied.

*Keywords: reinforced concrete beams, strength, shear span, percentage of longitudinal reinforcement, correlation analysis, regression*

К настоящему времени накоплена обширная база натуральных экспериментальных исследований работы коротких железобетонных балок при изменении разнообразных факторов, влияющих на прочность, однако недостаточно изучена и обоснована связь зависимой случайной величины с независимыми случайными переменными. На основе проведенного анализа выделены следующие факторы, прямо или косвенно влияющие на прочность коротких балок: прочность бетона; тип и процент продольной арматуры; размеры грузовых и опорных площадок; пролет среза; схемы нагружения и т.д.

Ниже анализируется влияние указанных факторов на прочность железобетонных балок при разрушении по растянутой зоне на основе результатов экспериментов, проведенных в Голландском институте строительства (CUR). В процессе натуральных испытаний фиксировалась: нагрузка появления трещины; нагрузка, при которой ширина раскрытия трещины составляла 0,15–0,3 мм и 1 мм; а также нагрузка, при которой наступало разрушение. Всего рассматривались 66 опытных образцов при изменении следующих факторов: пролета среза (от 0,25 до 1,5); процента продольного армирования (от 0,662 до 1,244); прочности бетона (от 190 кг/см<sup>2</sup> до 300 кг/см<sup>2</sup>); размеров

опорных и грузовых площадок (от 4,5см до 18 см). Результаты экспериментальных исследований приведены в таблице.

Результаты экспериментальных исследований CUR

| №  | $F_{test}$ | $L_{sup}$ | $a/h_0$ | $\mu_s$ | $R_b$ | №  | $F_{test}$ | $L_{sup}$ | $a/h_0$ | $\mu_s$ | $R_b$ |
|----|------------|-----------|---------|---------|-------|----|------------|-----------|---------|---------|-------|
| 1  | 55,5       | 4,5       | 0,25    | 0,662   | 300   | 34 | 55,5       | 18        | 1,5     | 0,824   | 300   |
| 2  | 65         | 4,5       | 0,5     | 0,662   | 300   | 35 | 50         | 4,5       | 0,25    | 1,244   | 300   |
| 3  | 49,5       | 4,5       | 0,75    | 0,662   | 300   | 36 | 57,5       | 4,5       | 0,5     | 1,244   | 300   |
| 4  | 52,5       | 4,5       | 1       | 0,662   | 300   | 37 | 67,5       | 4,5       | 0,75    | 1,244   | 300   |
| 5  | 40         | 4,5       | 1,25    | 0,662   | 300   | 38 | 45         | 4,5       | 1       | 1,244   | 300   |
| 6  | 19,5       | 4,5       | 1,5     | 0,662   | 300   | 39 | 52,5       | 4,5       | 1,25    | 1,244   | 300   |
| 7  | 80         | 9         | 0,25    | 0,662   | 300   | 40 | 42,5       | 4,5       | 1,5     | 1,244   | 300   |
| 8  | 82,5       | 9         | 0,5     | 0,662   | 300   | 41 | 80,5       | 9         | 0,25    | 1,244   | 300   |
| 9  | 68,5       | 9         | 0,75    | 0,662   | 300   | 42 | 90,5       | 9         | 0,5     | 1,244   | 300   |
| 10 | 62         | 9         | 1       | 0,662   | 300   | 43 | 90         | 9         | 0,75    | 1,244   | 300   |
| 11 | 47         | 9         | 1,25    | 0,662   | 300   | 44 | 53         | 9         | 1       | 1,244   | 300   |
| 12 | 36         | 9         | 1,5     | 0,662   | 300   | 45 | 60         | 9         | 1,25    | 1,244   | 300   |
| 13 | 118,5      | 18        | 0,5     | 0,662   | 300   | 46 | 54         | 9         | 1,5     | 1,244   | 300   |
| 14 | 80         | 18        | 0,75    | 0,662   | 300   | 47 | 120        | 18        | 0,5     | 1,244   | 300   |
| 15 | 64         | 18        | 1       | 0,662   | 300   | 48 | 120        | 18        | 0,75    | 1,244   | 300   |
| 16 | 46         | 18        | 1,25    | 0,662   | 300   | 49 | 96,5       | 18        | 1       | 1,244   | 300   |
| 17 | 42,5       | 18        | 1,5     | 0,662   | 300   | 50 | 73,5       | 18        | 1,25    | 1,244   | 300   |
| 18 | 46,5       | 4,5       | 0,25    | 0,824   | 300   | 51 | 65         | 18        | 1,5     | 1,244   | 300   |
| 19 | 52,5       | 4,5       | 0,5     | 0,824   | 300   | 52 | 30         | 4,5       | 0,25    | 0,67    | 190   |
| 20 | 62,5       | 4,5       | 0,75    | 0,824   | 300   | 53 | 37,5       | 4,5       | 0,5     | 0,67    | 190   |
| 21 | 60         | 4,5       | 1       | 0,824   | 300   | 54 | 37,5       | 4,5       | 0,75    | 0,67    | 190   |
| 22 | 52,5       | 4,5       | 1,25    | 0,824   | 300   | 55 | 37,5       | 4,5       | 1       | 0,67    | 190   |
| 23 | 33         | 4,5       | 1,5     | 0,824   | 300   | 56 | 32         | 4,5       | 1,25    | 0,67    | 190   |
| 24 | 85         | 9         | 0,25    | 0,824   | 300   | 57 | 19         | 4,5       | 1,5     | 0,67    | 190   |
| 25 | 95         | 9         | 0,5     | 0,824   | 300   | 58 | 50         | 9         | 0,25    | 0,67    | 190   |
| 26 | 65,5       | 9         | 0,75    | 0,824   | 300   | 59 | 55         | 9         | 0,5     | 0,67    | 190   |
| 27 | 60         | 9         | 1       | 0,824   | 300   | 60 | 50         | 9         | 0,75    | 0,67    | 190   |
| 28 | 50         | 9         | 1,25    | 0,824   | 300   | 61 | 42         | 9         | 1       | 0,67    | 190   |
| 29 | 37,5       | 9         | 1,5     | 0,824   | 300   | 62 | 30         | 9         | 1,25    | 0,67    | 190   |
| 30 | 123        | 18        | 0,5     | 0,824   | 300   | 63 | 65         | 18        | 0,25    | 0,67    | 190   |
| 31 | 95         | 18        | 0,75    | 0,824   | 300   | 64 | 75         | 18        | 0,5     | 0,67    | 190   |
| 32 | 79,5       | 18        | 1       | 0,824   | 300   | 65 | 65         | 18        | 0,75    | 0,67    | 190   |
| 33 | 60         | 18        | 1,25    | 0,824   | 300   | 66 | 50         | 18        | 1       | 0,67    | 190   |

Геометрические размеры опытных образцов показаны на рис. 1.

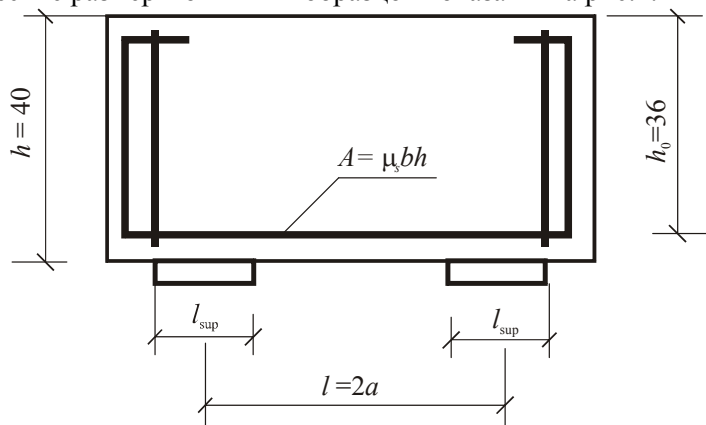


Рис. 1. Схема опытных образцов института строительства CUR



На первоначальном этапе исследований для оценки тесноты и направления связи между исследуемыми показателями произведен корреляционный анализ. Установлено, что при разрушении по растянутой зоне на прочность оказывают влияние все рассматриваемые факторы (пролет среза, процент продольного армирования, прочность бетона, размер опорных и грузовых площадок) (рис. 2).

|   | A          | B          | C         | D        | E        | F     |
|---|------------|------------|-----------|----------|----------|-------|
| 1 |            | $F_{test}$ | $L_{sup}$ | $a/h_0$  | $\mu_s$  | $R_b$ |
| 2 | $F_{test}$ | 1          |           |          |          |       |
| 3 | $L_{sup}$  | 0,556413   | 1         |          |          |       |
| 4 | $a/h_0$    | -0,44608   | 0,051871  | 1        |          |       |
| 5 | $\mu_s$    | 0,321524   | 0,014898  | 0,062882 | 1        |       |
| 6 | $R_b$      | 0,367491   | 0,03524   | 0,14874  | 0,422768 | 1     |

Рис. 2. Результаты корреляционного анализа

Установлено, что уровень всех выявленных связей различен и состоит в следующем:

- связь «прочность балки» – «размер грузовых и опорных площадок» является прямой и заметной;
- связь «прочность балки» – «пролет среза» является умеренной и обратной;
- связь «прочность балки» – «процент продольного армирования» является прямой и умеренной;
- связь «прочность балки» – «прочность бетона» является прямой и умеренной.

Далее определили аналитическую зависимость исследуемых факторов на прочности балки. По представленным исходным данным (см. таблицу) с помощью программы Microsoft Excel (программная надстройка «Пакет анализа», «Регрессия») получили результаты регрессионной статистики, представленные на рис. 3.

|    | A                        | B            | C                  | D            | E           | F            | G            | H            | I             |
|----|--------------------------|--------------|--------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| 1  | Вывод итогов             |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 2  |                          |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 3  | Регрессионная статистика |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 4  | Множественный R          | 0,983720006  |                    |              |             |              |              |              |               |
| 5  | R-квадрат                | 0,967705051  |                    |              |             |              |              |              |               |
| 6  | Нормированный R-         | 0,95001336   |                    |              |             |              |              |              |               |
| 7  | Стандартная ошибка       | 12,08158537  |                    |              |             |              |              |              |               |
| 8  | Наблюдения               | 66           |                    |              |             |              |              |              |               |
| 9  |                          |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 10 | Дисперсионный анализ     |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 11 |                          | df           | SS                 | MS           | F           | Значимость F |              |              |               |
| 12 | Регрессия                | 4            | 271173,9383        | 67793,48457  | 464,4512151 | 6,38047E-45  |              |              |               |
| 13 | Остаток                  | 62           | 9049,811707        | 145,9647049  |             |              |              |              |               |
| 14 | Итого                    | 66           | 280223,75          |              |             |              |              |              |               |
| 15 |                          |              |                    |              |             |              |              |              |               |
| 16 |                          | Коэффициенты | стандартная ошибка | t-статистика | P-Значение  | Нижние 95%   | Верхние 95%  | Нижние 95,0% | Верхние 95,0% |
| 17 | Y-пересечение            | 0            |                    |              |             |              |              |              |               |
| 18 | $L_{sup}$                | 2,427767284  | 0,26504564         | 9,159808421  | 3,95814E-13 | 1,897948605  | 2,957585964  | 1,897948605  | 2,957585964   |
| 19 | $a/h_0$                  | -30,83511456 | 3,618960091        | -8,520435093 | 4,97044E-12 | -38,06931263 | -23,60091649 | -38,06931263 | -23,60091649  |
| 20 | $\mu_s$                  | 19,71783193  | 6,781708114        | 2,907502298  | 0,005048896 | 6,161390702  | 33,27427315  | 6,161390702  | 33,27427315   |
| 21 | $R_b$                    | 0,170638196  | 0,025064265        | 6,808027127  | 4,61601E-09 | 0,120535444  | 0,220740947  | 0,120535444  | 0,220740947   |

Рис. 3. Результаты регрессионной статистики

Рассчитанные коэффициенты регрессии позволяют построить регрессионную модель, выражающую зависимость прочности железобетонных балок от размера грузовых и опорных площадок ( $x_1$ ), величины пролета среза  $a/h_0$  ( $x_2$ ), процента продольного армирования  $\mu_s$  ( $x_3$ ), прочности бетона ( $x_4$ ):

$$\hat{Y} = 2,43x_1 - 30,84x_2 + 19,72x_3 + 0,17x_4.$$

Значение множественного коэффициента детерминации  $R^2 = 0,968$  показывает, что 96,8 % общей вариации результативного признака объясняется вариацией факторных признаков  $X_1, X_2, X_3, X_4$ . Значит, выбранные факторы влияют на прочность балок, что подтверждает правильность их включения в построенную модель.

Рассчитанный уровень значимости  $\alpha_p=6,38E-45<0,05$  подтверждает значимость  $R^2$ .

Проверка значимости коэффициентов регрессии показывает, что абсолютные значения коэффициентов  $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  больше, чем их стандартные ошибки. К тому же эти коэффициенты являются значимыми, о чем можно судить по значениям показателя  $P$ -значения (которое меньше заданного уровня значимости  $\alpha=0,05$ ).

Таким образом, расчетная модель определения прочности железобетонных балок при разрушении по растянутой зоне отражает влияние исследуемых факторов на результативный признак (коэффициенты  $a_1=2,43, a_2=-30,84, a_3=19,72, a_4=19,60$  показывают степень влияния каждого фактора).

#### Выводы

1. Получено аналитическое выражение для вычисления прочности железобетонных балок при изменении: пролета среза (от 0,25 до 1,5); процента продольного армирования (от 0,662 до 1,244); прочности бетона (от 190 кг/см<sup>2</sup> до 300 кг/см<sup>2</sup>); размеров опорных и грузовых площадок (от 4,5 см до 18 см).

2. В соответствии с расчетной моделью прочность балок при разрушении по растянутой зоне повышается при увеличении размеров грузовых и опорных площадок ( $a_1=2,43$ ), процента продольного армирования ( $a_3=19,72$ ), прочности бетона ( $a_4=19,60$ ) и снижается при увеличении пролета среза ( $a_2=-30,84$ ). Значение коэффициентов говорит о степени влияния каждого фактора в предложенной модели на прочность железобетонных балок.

3. На основе корреляционного анализа установлена связь между результативным признаком (прочность) и исследуемыми факторами. Уровень всех выявленных связей различен: связь «прочность балки» – «размер грузовых и опорных площадок» является прямой и заметной; связь «прочность балки» – «пролет среза» является умеренной и обратной; связь «прочность балки» – «процент продольного армирования» является прямой и умеренной; связь «прочность балки» – «прочность бетона» является прямой и умеренной.

4. Представленная расчетная модель для определения прочности коротких железобетонных балок при разрушении по растянутой зоне согласуется с опытными данными. Значение множественного коэффициента детерминации  $R^2=0,968$  показывает, что 96,8 % общей вариации результативного признака объясняется вариацией выбранных факторных признаков.

#### Список литературы:

1. Определение схем разрушения и трещинообразования коротких железобетонных балок по экспериментальным данным / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 74–81.
2. Снежкина, О.В. Оценка каркасно-стержневых моделей для определения трещиностойкости балок / О.В. Снежкина, Ю.П. Скачков, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 1. – С. 101–104.
3. Моделирование работы коротких железобетонных балок / Т.И. Баранова, Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2014. – № 2 (36). – С. 54–60.
4. Скачков, Ю.П. Модификация метода ПАТТЕРН к решению архитектурно-строительных задач / Ю.П. Скачков, А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1(10). – С.4–9.
5. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 5. – P.219–225. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
6. Danilov, A.M. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 9. – P.375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>

7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>
8. Корнюхин, А.В. Экспериментально-теоретические исследования толстых плит: монография / А.В. Корнюхин, М.В. Кочеткова, О.В. Снежкина. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 132 с.

#### References

1. Definition of schemes of cracking destruction of short concrete beams by experimental data / Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornyuhin // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 74–81.
2. Snezhkina, O.V. Estimation of frame-and-rod models for the determination of fracture toughness of beams / O.V. Snezhkina, Y.P. Skachkov, R.A. Ladin // Regional architecture and engineering. – 2015. – No. 1. – P. 101–104.
3. Modeling work of short reinforced concrete beams / T.I. Baranova, Y.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Journal of Siberian Russian state automobile and road Academy. – 2014. – No. 2 (36). – P. 54–60.
4. Skachkov, Y.P. Modification of the method of PATTERN to the solution of the architecture-and-construction issues / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garkina // Regional architecture and engineering. – 2011. – №1(10). – P.4–9.
5. Danilov, A.M. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 5. – P.219–225. URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.517>
6. Danilov, A.M. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 9. – P.375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>
7. Shein, A.I. Numerical study of short reinforced concrete beams / A.I. Shein, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, No. 9. – P. 361–365. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5246>
8. Kornyuhin, A.V. Experimental and theoretical investigation of thick beams: monography / A.V. Kornyuhin, M.V. Kochetkova, O.V. Snezhkina. – Penza: PGUAS, 2013. – 132 p.

# ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

## ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.3

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Гарькина Ирина Александровна,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Математика  
и математическое моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Князев Владимир Александрович,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Water supply, sewerage and  
hydraulic engineering»  
E-mail:andreev3007@rambler.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Mathematics and mathematical  
modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich,**  
Postgraduate of the department «Water  
supply, sewerage and hydraulic engineering»

### НОВАЯ МЕТОДИКА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РАСЧЕТА ТРУБЧАТЫХ СМЕСИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ОБЛАСТИ КВАДРАТИЧНОГО ЗАКОНА СОПРОТИВЛЕНИЯ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев

Приведены результаты экспериментальных и теоретических исследований гидравлических характеристик трубчатых смесительных устройств, работающих в области квадратичного закона сопротивления. Получено уравнение для определения величины критического числа Рейнольдса ( $Re_{кр}$ ) в точке перехода в область квадратичного закона сопротивления. Использование предложенной методики расчета трубчатого смесительного устройства позволит оптимизировать процесс его работы.

*Ключевые слова: смесительное устройство, градиент скорости, касательное напряжение, динамическая скорость, число Никурадзе, вязкий подслей.*

### NEW METHOD OF HYDRAULIC CALCULATION OF TUBULAR MIXING DEVICES WORKING IN THE FIELD OF THE SQUARE RESISTANCE LAW

S.Y. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev

The results of experimental and theoretical researches of hydraulic characteristics of tubular mixing devices working in the field of the square resistance law are presented. The equation for determination of critical Reynolds number ( $Re_{cr}$ ) in a transition point to zone of the resistance square

law has been calculated. The offered calculation method of the tubular mixing device allows to optimize process of its work.

*Keywords: mixing device, speed gradient, tangential stress, dynamic speed, Nikuradze number, viscous underlayer*

В практике очистки природных и сточных вод широкое распространение получили реагентные технологии, предусматривающие ввод соответствующих химических реагентов в обрабатываемую воду в определенных точках технологической схемы, при этом важно быстро и равномерно распределить добавляемые химические реагенты в массе обрабатываемой воды [1,2]. Для этих целей используются разнообразные смесительные устройства, осуществляющие быстрое распределение реагентов в объеме обрабатываемой воды, что позволяет обеспечить контакт максимально большого числа частиц примесей с самими добавляемыми реагентами и продуктами их гидролиза. Смесительные устройства создают в потоке обрабатываемой воды локальные области с повышенной турбулентностью, в результате чего возникают турбулентные вихри, активно участвующие в процессах перемешивания объема потока.

Инженерная задача проектирования этих устройств тесно связана с проблемой разработки методики определения величины удельных энергетических затрат на процесс перемешивания и расчета конструктивных параметров перемешивающих устройств. В настоящее время описание процессов, происходящих в турбулентном потоке, принято осуществлять на основе положений теории изотропной турбулентности Колмогорова [3].

В рамках этой теории местная скорость в турбулентном потоке рассматривается как результат наложения на среднюю величину местной скорости течения жидкости в рассматриваемой точке потока спектра переменных пульсаций скорости разного масштаба и разного закона. Турбулентная составляющая пульсаций скорости возникает под действием турбулентных вихрей, образующихся на поверхности раздела «поток – стенка русла» или «поток – обтекаемое тело». Кинетическая энергия крупномасштабных пульсаций передается пульсациям более мелкого масштаба. Этот процесс принято называть «прямым каскадом» энергии [3]. В процессе реализации «прямого каскада» энергия низкомасштабной турбулентности увеличивается, а масштаб низкомасштабной пульсации  $\lambda$  (м) уменьшается. Процесс снятия энергии с крупномасштабной турбулентности мелкомасштабными пульсациями называется «обратным каскадом» энергии [3]. В процессе «обратного каскада» энергия крупномасштабной турбулентности уменьшается, а масштаб крупномасштабной пульсации  $l$  (м) увеличивается.

Под действием «прямого каскада» энергии размер низкомасштабной пульсации скорости в конечном счете уменьшится до некоторой критической величины  $\lambda_0$ , при которой вызывающие пульсацию силы инерции по величине сравнятся с силами вязкого трения, в результате чего содержащаяся в потоке энергия рассеивается в окружающую среду и превращается в теплоту. Происходит диссипация части энергии потока.

Критическая величина пульсаций  $\lambda_0$  (м) носит название внутреннего масштаба турбулентности и определяется, с одной стороны, величиной удельной секундной диссипации энергии  $\epsilon_T$  (Дж/(кг·с); м<sup>2</sup>/с<sup>3</sup>), с другой – вязкостью жидкости, численной характеристикой которой является коэффициент кинематической вязкости  $\nu$  (м<sup>2</sup>/с).

В процессе перемешивания объема турбулентного потока происходит перемещение частиц, содержащихся в жидкости, в поперечном (радиальном) направлении.

При описании этого перемещения частиц рассматривается стационарный поток частиц через сферическую поверхность радиусом  $r$  (м) и площадью  $S$  (м<sup>2</sup>), средняя концентрация которых в системе равна  $N_0$  (шт/м<sup>3</sup>). В соответствии с первым законом Фика стационарный поток частиц может быть описан уравнением

$$I = D \cdot S \cdot \frac{dN}{dr} = D \cdot 4\pi r^2 \cdot \frac{dN}{dr}, \text{ шт./с}, \quad (1)$$

где  $D$  – эффективный коэффициент диффузии, равный сумме коэффициента броуновской диффузии  $D_B$  и коэффициента турбулентной диффузии  $D_T (D=D_B+D_N)$  ( $m^2/c$ ).

Процессы броуновской диффузии отвечают за перемещение частиц размером менее 1 мкм и обеспечивают микромасштабное перемешивание в микрообъемах жидкости. Для процессов макромасштабного перемешивания в первом приближении можно принять  $D=D_T$ .

В турбулентном потоке две частицы, находящиеся на расстоянии  $l$  друг от друга, будут перемещаться относительно друг друга только под воздействием турбулентных пульсаций скорости  $\Delta v_\lambda$  (м), имеющих масштаб  $\lambda_\sigma \approx l$ , поскольку при  $\lambda_\sigma \gg l$  обе частицы переместятся в пространстве как единое целое. В связи с этим принято определять величину коэффициента турбулентной диффузии по формуле

$$D_T = K_T \cdot \lambda_\sigma \cdot v_\lambda, m^2/c, \quad (2)$$

где  $K_T$  – безразмерный постоянный числовой множитель, величина которого определяется экспериментально.

В соответствии с экспериментальными данными коэффициент  $K_T$  равен 2 и формула (2) может быть записана в виде [2]

$$D_T = 2\lambda_\sigma \cdot v_\lambda, m^2/c. \quad (3)$$

Наряду с эффектом перемешивания объема воды в перемешивающих устройствах, важное значение имеют и процессы, непосредственно протекающие под воздействием турбулентных пульсаций скорости потока  $\Delta v_\lambda$ . Например, в трубчатых каплеобразователях под воздействием турбулентных пульсаций скорости потока происходит разрушение бронирующих оболочек на каплях нефтяной эмульсии, обуславливающих процесс их агрегативной устойчивости, что приводит к их слиянию [4].

В работе [4] приводятся данные, свидетельствующие о том, что величина турбулентных пульсаций скорости  $\Delta v_\lambda$  (м) и величина коэффициента турбулентной диффузии  $D_T$  ( $m^2/c$ ) на границе раздела «поток – твердая стенка» существенно превосходят значения аналогичных показателей, наблюдаемых на оси потока.

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [4], величину пульсационной составляющей скорости потока в пристеночной области трубчатого смесительного устройства надлежит определять по эмпирической формуле

$$\Delta v_\lambda = \frac{0,2v}{Re^{0,125}}, m/c, \quad (4)$$

а в приосевой области потока по формуле

$$\Delta v_{\lambda,0} = \frac{0,2v}{Re^{0,5}}, m/c, \quad (5)$$

где  $v$  – средняя скорость потока в трубчатом смесительном устройстве (м/с);  $Re$  – критерий Рейнольдса для трубчатого смесительного устройства диаметром  $d$  (м),

$$Re = \frac{v \cdot d}{\nu}. \quad (6)$$

Величину коэффициента турбулентной диффузии в пристеночной области трубчатого смесительного устройства в соответствии с рекомендациями [4] можно определять по эмпирической формуле

$$D_{\Delta v} = \frac{0,0033d \cdot v}{Re^{0,125}}, m^2/c. \quad (7)$$

В настоящее время в качестве смесительных устройств широкое распространение получили трубчатые устройства, имеющие развитую удельную поверхность раздела

«поток жидкости – стенка русла», что обеспечивает высокую интенсивность перемешивания при умеренных энергетических затратах [1, 2].

Как было показано в работах [1, 2], основными расчетными характеристиками при проектировании трубчатых смесительных устройств являются:

Средняя величина низкомасштабной составляющей турбулентных пульсаций скорости в пристеночной области потока:

$$\Delta v_\lambda = v_* \sqrt[4]{2}, \text{ м/с.} \quad (8)$$

Величина коэффициента турбулентной диффузии в пристеночной области потока:

$$D_T = 2\alpha v, \text{ м}^2/\text{с.} \quad (9)$$

Величина градиента скорости в пристеночной области потока:

$$G_* = \frac{2v}{R} = \frac{v_*^2}{\alpha v}, \text{ с}^{-1}. \quad (10)$$

Величина удельной секундной диссипации энергии в трубчатом перемешивающем устройстве:

$$\varepsilon_T = \frac{1}{2} v_*^2 G_*, \text{ Дж/(кг}\cdot\text{с); м}^2/\text{с}^3, \quad (11)$$

где  $v$  – кинематический коэффициент вязкости воды,  $v=1,01 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ ;  $R$  – гидравлический радиус (м) (для трубы круглого сечения диаметром  $d$  (м) величина гидравлического радиуса определяется как  $R = \frac{1}{4} d$ );  $\alpha$  – коэффициент, характеризующий степень турбулентности потока;  $v_*$  – динамическая скорость (м/с).

Величина динамической скорости определяется по формуле

$$v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}. \quad (12)$$

Величина коэффициента  $\alpha$  в соответствии с формулой (10) вычисляется как

$$\alpha = \frac{v_*^2 R}{2v} = \left( v \sqrt{\frac{\lambda}{8}} \right)^2 \cdot \frac{R}{2v} = \frac{vR}{2v} \cdot \frac{\lambda}{8} = \frac{vR}{v} \cdot \frac{\lambda}{64} = \text{Re} \frac{\lambda}{64}. \quad (13)$$

Таким образом, в соответствии с формулами (9)-(13) расчет трубчатого смесительного устройства при известных значениях  $v$ ,  $R$  и  $v$  сводится к определению величины коэффициента гидравлического трения  $\lambda$ .

Имеется ряд эмпирических зависимостей для вычисления величины коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  при различных режимах движения жидкости (различных значениях критерия  $\text{Re}$ ) для труб с различной величиной, эквивалентной шероховатости  $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$ .

На рисунке представлены графики зависимостей величины коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  от числа  $\text{Re}$  и значения  $\bar{\Delta}$ , полученные эмпирическим путем Г.А. Муриным [5].

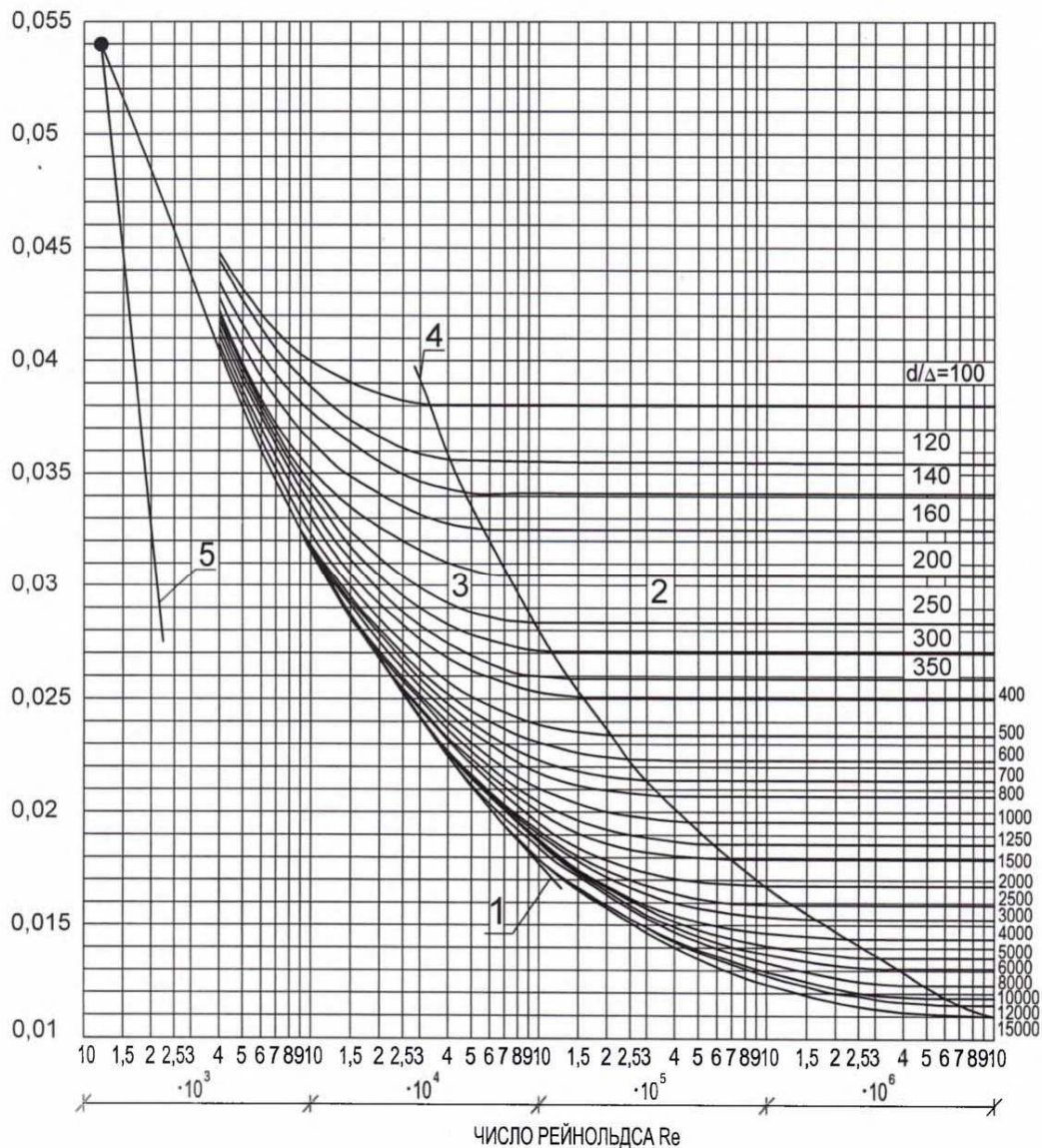


График Г.А. Мурина:

1 – кривая гидравлически гладких труб; 2 – область квадратичного закона гидравлического сопротивления; 3 – переходная область; 4 – кривая, разделяющая переходную область и область квадратичного закона; 5 – линия ламинарного режима

Различают следующие зоны движения жидкости:

1. Зона ламинарного движения жидкости. В этой зоне выполняется равенство

$$\lambda = \frac{64}{Re}. \quad (14)$$

2. Зона гидравлически гладких труб. В зоне гидравлически гладких труб используется формула Блазиуса

$$\lambda = (100 Re)^{-0,25} = \frac{0,316}{Re^{0,25}}. \quad (15)$$

Как в зоне ламинарного движения жидкости, так и в зоне гидравлически гладких труб величина коэффициента гидравлического трения не зависит от значения относительной шероховатости труб  $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$  (линии 1 и 5, см. рисунок).



3. Переходная зона. На значение величины коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  в переходной зоне влияют как число  $Re$ , так и величина относительной шероховатости  $\bar{\Delta} = \frac{\Delta}{d}$ . Величину коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  в этом случае принято определять по формуле А.Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25}. \quad (16)$$

4. Область квадратичного закона сопротивления шероховатых русел, называемая областью автомодельного режима течения жидкости (поскольку  $\lambda_{KB} = \text{const}$ ). Величина коэффициента гидравлического трения  $\lambda_{KB}$  в этой области зависит только от значения относительной шероховатости  $\bar{\Delta}$  и вычисляется по формуле Б.Л. Шифринсона

$$\lambda_{KB} = 0,11 \left( \frac{\Delta}{d} \right)^{0,25} \quad (17)$$

или по формуле Л. Прандтля

$$\lambda_{KB} = \frac{0,25}{\left( \lg 3,7 \frac{d}{\Delta} \right)^2}$$

Введение коэффициента  $\alpha$  может позволить использовать универсальную зависимость для всех зон движения жидкости

$$\lambda = \frac{64}{Re} \alpha. \quad (18)$$

Точкой перехода для трубы, имеющей относительную шероховатость  $\bar{\Delta}$ , переходного режима движения жидкости в область квадратичного закона сопротивления является критическая точка турбулентного режима (кривая 4, см. рисунок). Этой точке соответствует определенное значение числа Рейнольдса, являющегося критическим числом Рейнольдса для турбулентного режима  $Re_{KT}$ .

Никурадзе И. была получена следующая эмпирическая зависимость, устанавливающая взаимосвязь между величиной эквивалентной шероховатости  $\Delta$  (м) и динамической скоростью в критической точке турбулентного режима [3]

$$\Delta = \frac{2Nv}{v_{*kt}}, \text{ м}, \quad (19)$$

где  $N$  – число Никурадзе.

По экспериментальным данным,  $N=10,7-11,6$ . Никурадзе И. было сделано предположение, что в рассматриваемых критических точках толщина пристеночного подслоя  $\delta_*$  (м) в два раза меньше величины эквивалентной шероховатости  $\Delta$  (м)

$$\delta_* = \frac{1}{2} \Delta = \frac{Nv}{v_{*kt}}, \text{ м}. \quad (20)$$

Поскольку при переходе течения жидкости в область квадратичного закона сопротивления величина критического числа Рейнольдса  $Re_{KT}$  будет зависеть только от значения эквивалентной шероховатости  $\Delta$  (м), то можно использовать число Рейнольдса, в котором в качестве линейного размера принята величина эквивалентной шероховатости

$$Re_{\Delta KT} = \frac{v_{KT} \cdot \Delta}{\nu}. \quad (21)$$

Анализ существующих экспериментальных данных (см. рисунок) показывает, что величина коэффициента гидравлического трения  $\lambda_{КТ}$  в критической точке турбулентного режима может быть определена по формуле

$$\lambda_{КТ} = \left( \frac{64}{\text{Re}_{\DeltaКТ}} \right)^2 = \frac{64}{\text{Re}_{КТ}} \cdot \alpha_{КТ} = \left( \frac{64}{\text{Re}_{\DeltaКТ}} \cdot \frac{d}{\Delta} \right)^2. \quad (22)$$

Из (22) имеем

$$\sqrt{\lambda_{КТ}} = \frac{64}{\text{Re}_{\DeltaКТ}} = \frac{64}{\text{Re}_{КТ}} \cdot \frac{d}{\Delta},$$

откуда

$$\text{Re}_{КТ} = \frac{64}{\sqrt{\lambda_{КТ}}} \cdot \frac{d}{\Delta}. \quad (23)$$

Кривая 4 на рисунке построена по формуле (23) и является кривой, разделяющей переходную область и область квадратичного закона сопротивления.

Из (22) с учетом (23) имеем

$$\alpha = \frac{\text{Re}_{КТ}}{64} \cdot \lambda_{КТ} = \frac{d}{\Delta} \sqrt{\lambda_{КТ}}, \quad (24)$$

откуда по аналогии с (19) получим:

$$\Delta = \frac{d \sqrt{\lambda_{КТ}}}{\alpha_{КТ}}. \quad (25)$$

Точное значение числа Никурадзе может быть получено из формулы (19) с учетом (22):

$$v_{*КТ} = \frac{2Nv}{\Delta} = v_{КТ} \cdot \sqrt{\frac{\lambda_{КТ}}{8}},$$

откуда

$$\lambda_{КТ} = 8 \left( \frac{2Nv}{\Delta v_{КТ}} \right)^2 = 32 \left( \frac{N}{\text{Re}_{\DeltaКТ}} \right)^2 = \left( \frac{64}{\text{Re}_{\DeltaКТ}} \right)^2,$$

$$N = \frac{64}{\sqrt{32}} = 11,3137.$$

Помимо предположения о толщине вязкого подслоя  $\delta_*$  в критической точке турбулентного потока И. Никурадзе было сделано допущение о том, что величина местной скорости в пристеночном подслое  $u_6$  (м/с) изменяется по линейному закону. В этом случае значения градиента скорости  $G_*$  ( $\text{с}^{-1}$ ), как и значение касательного напряжения  $\tau_* = \rho \cdot v_*^2$ , в вязком пристеночном подслое являются постоянными величинами ( $\sigma_* = \text{const}$ ;  $\tau_* = \text{const}$ ), а величина скорости на границе вязкого подслоя толщиной  $\delta_*$  (м) может быть определена как

$$u_6 = G_* \cdot \delta_*, \text{ м/с}. \quad (26)$$

Величину градиента скорости в пристеночном подслое было рекомендовано определять по формуле

$$G_* = \frac{v_{*KT}^2}{\nu} \text{ с}^{-1}. \quad (27)$$

Из (26) и (27) имеем

$$\delta_* = \frac{u_\delta}{G_*} = \frac{u_\delta}{v_{*KT}} \cdot \frac{\nu}{v_{*KT}}, \text{ м.} \quad (28)$$

Отношение величины местной скорости  $u_\delta$  на границе вязкого ламинарного подслоя к величине динамической скорости  $v_{*KT}$  является числом Никурадзе  $N$  ( $\frac{u_\delta}{v_{*KT}} = N$ ), и формула (28) может быть представлена в виде формулы (20).

При анализе формулы (28) можно сделать и другое допущение о том, что скорость на границе вязкого подслоя равна величине динамической скорости  $u_\delta = v_{*KT}$  (причем это равенство соблюдается при всех режимах течения жидкости  $u_\delta = v_*$ ), величина коэффициента кинематической вязкости при этом должна быть увеличена в  $\alpha$  раз ( $\nu_* = \alpha \cdot \nu$ ).

Тогда формула (28) может быть записана в виде

$$\delta_* = \frac{\nu_*}{v_*} = \frac{\alpha_{KT} \cdot \nu}{v_{*KT}}, \text{ м.} \quad (29)$$

Здесь следует отметить, что  $N$  в формуле (20) является константой, а  $\alpha$  в формуле (29) – коэффициентом, изменяющим свою величину в зависимости от значения числа  $Re$ .

Формула (10) в этом случае запишется в виде

$$G_* = \frac{2\nu}{R} = \frac{v_*^2}{\alpha \cdot \nu} = \frac{v_*}{\delta_*}, \text{ с}^{-1}. \quad (30)$$

Из формулы (30) с учетом  $v_* = v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}$  имеем

$$\delta_* = R \frac{v_*}{2\nu} = R \frac{v \sqrt{\frac{\lambda}{8}}}{2\nu} = R \sqrt{\frac{\lambda}{32}}, \text{ м.} \quad (31)$$

Величина коэффициента  $\alpha$  в соответствии с формулой (13) с учетом  $\nu = v_* \sqrt{\frac{8}{\lambda}}$  и

$R = \delta_* \sqrt{\frac{32}{\lambda}}$  может быть определена как

$$\alpha = \frac{v \cdot R}{\nu} \cdot \frac{\lambda}{16} = \frac{v_* \sqrt{\frac{8}{\lambda}} \cdot \delta_* \sqrt{\frac{32}{\lambda}}}{\nu} \cdot \frac{\lambda}{16} = \frac{v_* \cdot \delta_*}{\nu}, \quad (32)$$

откуда

$$\frac{v_* \cdot \delta_*}{\nu_*} = \frac{v_* \cdot \delta_*}{\alpha \cdot \nu} = 1. \quad (33)$$

Соотношение (33) выполняется при всех режимах течения жидкости. При ламинарном режиме  $\alpha=1$ .

Значение коэффициента  $\alpha$  при  $\delta_* = \frac{1}{2} \Delta$  может быть определено с учетом формулы (25):

$$\alpha_{KT} = \frac{4R\sqrt{\lambda_{KT}}}{\Delta} = \frac{4R\sqrt{\lambda_{KT}}}{2\delta_*} = \frac{2R\sqrt{\lambda_{KT}}}{R\sqrt{\frac{\lambda_{KT}}{32}}} = 2\sqrt{32} = 11,3137. \quad (34)$$

Сопоставляя значения числа Никурадзе  $N$  и величины коэффициента  $\alpha$ , можно сделать вывод о том, что число Никурадзе показывает, во сколько раз увеличивается величина кинематического коэффициента вязкости в критической точке турбулентного потока в некотором гипотетическом вязком подслое, имеющем толщину  $\delta_*$ ,

равную половине величины эквивалентной шероховатости  $\Delta$  ( $\delta_* = \frac{1}{2} \Delta$ ).

Следует отметить, что в реальности в этом случае величина толщины вязкого подслоя будет равна:

$$\delta_* = R\sqrt{\frac{\lambda_{KT}}{32}}, \text{ м.} \quad (35)$$

Используя формулу (23) совместно с формулами (16) и (17), можно определить режим движения жидкости в трубчатом смесительном устройстве и точную величину коэффициента гидравлического трения  $\lambda$  при заданных значениях величин  $v$ ,  $R$  и  $\nu$ . Основные расчетные характеристики трубчатого смесительного устройства могут быть определены по формулам (9)-(14), что позволит рассчитать необходимую величину энергозатрат на процесс перемешивания и определить его основные конструктивные параметры.

#### Список литературы

1. К вопросу гидравлического расчета трубчатого гидродинамического флокулятора / С.Ю. Андреев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №1. – С. 107–114.
2. Математическое моделирование процесса работы трубчатого гидродинамического смесительного устройства / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев, Г.П. Давыдов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С. 124–132.
3. Ландау, Л.Д. Теоретическая физика. Гидрогазодинамика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лавшиц. – М.: Физматлит, 2000. – 736 с.
4. Адельшин, А.Б. Интенсификация очистки нефтесодержащих сточных вод на основе применения струйно-отстойных аппаратов / А.Б. Адельшин, Н.И. Потехин. – Казань: КГАСА. – 1997. – 207 с.
5. Калицун, В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров. – М.: Стройздат, 2002. – 394 с.

#### References

1. To the question of hydraulics computation of pipe hydrodynamic flocculator / S.Yu. Andreev [etc.] // Regional architecture and engineering. – 2013. – No.1. – P. 107–114.
2. Mathematical modelling of work process of the tubular hydrodynamic mixing device / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev, G.P. Davydov // Regional architecture and engineering. – 2017. – No.1. – P. 124–132.
3. Landau, L.D. Theoretical physics. Hydrogasodynamics / L.D. Landau, E.M. Lifshitz. – M.: Physmatlit, 2000. – 736 p.
4. Adelshin, A.B. Intensification of treatment of oil-containing waste water on the basis of jet-settling mechanisms usage / A.B. Adelshin, N.I. Potekhin. – Kazan: Kazan State Academy of Architecture and Engineering, 1997. – 207 p.
5. Kalitsun, V.I. Hydraulics, water supply and sewerage / V.I. Kalitsun, V.S. Kedrov // M.: Srtoyizdat, 2002. – 394 p.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Андреев Сергей Юрьевич,**  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Водоснабжение, водоотведение  
и гидротехника»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Гарькина Ирина Александровна,**  
доктор технических наук,  
профессор кафедры «Математика  
и математическое моделирование»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Князев Владимир Александрович,**  
аспирант кафедры «Водоснабжение,  
водоотведение и гидротехника»

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Andreev Sergey Yuryevich,**  
Doctor of Sciences, Professor  
of the department «Water supply, sewerage  
and hydraulic engineering»  
E-mail: andreev3007@rambler.ru

**Garkina Irina Aleksandrovna,**  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Mathematics and mathematical  
modeling»  
E-mail: fmatem@pguas.ru

**Knyazev Vladimir Aleksandrovich,**  
Postgraduate of the department «Water  
supply, sewerage and hydraulic Engineering»

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РЕАГЕНТОВ-ОКИСЛИТЕЛЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев

Приведен обзор литературных источников, посвященных технологиям обработки сточных вод реагентами-окислителями. Показано, что предпочтительным для интенсификации процессов деструктивной очистки и обеззараживания сточных вод является феррат натрия. Доказано, что дополнительное введение феррата натрия в процессе обработки сточных вод активным хлором позволяет гарантированно обеспечить их обеззараживание до принятого санитарными нормами уровня и исключить отрицательное воздействие хлорированных сточных вод на экосистему водных объектов.

*Ключевые слова: реагентная очистка, реагент-окислитель, кислородосодержащие соединения хлора, озонирование, феррат натрия*

## USE OF OXIDIZING AGENTS IN TECHNOLOGIES OF SEWAGE TREATMENT

S.Y. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev

A review of the literature sources devoted to technologies of sewage treatment with oxidizing agents is presented. It has been shown sodium ferrate is the most preferable for intensification of the destructive treatment processes with sewage decontamination. It has been proved additional introduction of sodium ferrate in the process of sewage treatment with active chlorine allows to guaranteedly provide its decontamination to the level accepted by the sanitary code and to exclude negative influence of the chlorinated sewage on the ecosystem of water bodies.

*Keywords: reagent treatment, oxidizing agent, oxygen-containing chlorine compounds, ozonization, sodium ferrate*

Наиболее распространенным методом деструктивной очистки и обеззараживания сточных вод является реагентный метод, предусматривающий использование реагентов-окислителей.

Традиционно в качестве реагентов-окислителей для деструктивной очистки и обеззараживания сточных вод, как правило, используются кислородосодержащие соединения хлора. В настоящее время широко применяются такие кислородосодержащие соединения хлора, как хлорноватистая кислота  $\text{HClO}$ , получаемая при растворе-

нии газообразного хлора в воде, диоксид хлора  $\text{ClO}_2$ , гипохлорит натрия  $\text{NaClO}$ , гипохлорит кальция  $\text{Ca}(\text{ClO})_2$  и хлорная известь  $\text{CaOCl}_2$ .

Ввиду крайне низкого окислительного потенциала эти химические соединения используются, как правило, для обеззараживания природных и сточных вод. Хлорная известь  $\text{CaOCl}_2$  в настоящее время не нашла широкого применения. В основном она используется для обеззараживания небольшого объема сточных вод, отводимых с территории локальных объектов.

Основными преимуществами метода хлорирования, обусловившими его широкое применение, являются: высокая надежность бактерицидного и вирулентного действия, дешевизна этого метода, простота конструктивного оформления аппаратуры и оперативного контроля за процессом обеззараживания сточных вод.

В соответствии с существующими в России нормативными документами, надежное обеззараживание хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод, прошедших процесс биологической очистки, обеспечивается при остаточной концентрации активного хлора в сточной воде  $C_{\text{ак}} = 1,5$  мг/л после нахождения ее в контактном резервуаре в течение 30 минут. В некоторых случаях при наличии соответствующих показателей для надежного обеспечения требуемого качества сточных вод, сбрасываемых в водные объекты (особенно по колифагу), требуется существенное ужесточение режима хлорирования. В литературе [1] описаны случаи, когда для достижения необходимой стабильной инактивации колифагов в зимний период требовалось обеспечивать в доочищенной сточной воде после 40-минутного контакта концентрацию остаточного хлора на уровне  $C_{\text{ак}} = 7$  мг/л.

Существенно повысить эффективность обеззараживания сточных вод активным хлором можно за счет интенсификации процесса перемешивания реагента-окислителя с обрабатываемым объемом сточных вод. Проведенные в 70-80-е гг. XX века исследования показали, что интенсификация процесса перемешивания без ущерба для эффективности процесса обеззараживания позволила уменьшить дозу хлора на 50-70 %, в результате чего снизился уровень остаточного хлора в обеззараженных сточных водах, уменьшился уровень их токсичности, сократилось требуемое время контакта [2].

Эффективными смесительными устройствами являются трубчатые смесители, в которых за счет местного сужения трубопровода происходит турбулизация потока, образуется область с пониженным давлением, в которую подается реагент-окислитель. За счет возникновения эффекта Вентури, ввод реагента-окислителя в сточные воды в трубчатом смесителе осуществляется под пониженным давлением. Для увеличения надежности процесса обеззараживания в трубчатых смесительных устройствах могут быть использованы насадки различных конструкций.

Наряду с режимом перемешивания обеззараживаемых сточных вод, важное значение имеет и конструкция контактного резервуара. Наиболее оптимальной для контакта активного хлора со сточными водами является конструкция реактора-вытеснителя.

Гидродинамический режим, приближающийся к режиму идеального вытеснения, обеспечивается высоким соотношением длины к ширине и низким соотношением высоты к ширине контактного резервуара.

Оптимальной считается конструкция прямоугольного коридорного контактного резервуара с соотношением общей (развернутой) длины коридоров к их ширине более 60.

Величину расчетной скорости движения обеззараживаемых сточных вод назначают из условия предотвращения осаждения содержащихся в них взвешенных веществ.

Объем контактного резервуара должен обеспечить продолжительность контакта обеззараживаемых сточных вод с реагентом-окислителем в часы максимального притока не менее 30 минут.

Негативные последствия обеззараживания сточных вод методом хлорирования заключаются в образовании хлорорганических соединений и хлораминов.

Хлорорганические соединения по отношению к человеку обладают высокой токсичностью, мутагенностью и канцерогенностью [2]. Данные соединения могут

аккумулироваться в тканях гидробионтов и по трофическим цепям в конечном счете попадать в организм человека. Они накапливаются в данных отложениях и сохраняются там на протяжении долгого времени, поскольку обладают высокой стойкостью к биодеструкции. Даже однократное загрязнение открытого водоема хлорорганическими соединениями вызывает их накопление в данных отложениях, что приводит к постоянному локальному негативному воздействию на водные организмы в течение нескольких лет после того, как это загрязнение произошло.

Хлорамины, как и хлорорганические соединения, являются высокотоксичными веществами. Они способны даже при незначительных концентрациях вызывать серьезные физиологические изменения гидробионтов и приводить к их гибели.

Богдановым М.В. были проведены исследования хлорированной воды, прошедшей доочистку на скорых песчаных фильтрах Курьяновской станции аэрации (г. Москва), на теплокровных животных. Результаты показали наличие у нее высокой канцерогенной и мутагенной активности [2].

Результаты исследований, свидетельствующие о повышенной токсичности активного хлора, привели к принятию в США требований, ограничивающих остаточную концентрацию активного хлора в сточных водах, прошедших обеззараживание до уровня 0,1 мг/л [1]. Данное требование было поддержано гигиенистами многих стран, что привело к развитию и внедрению методов дехлорирования.

Для дехлорирования сточных вод, прошедших процесс обеззараживания хлором, как правило, используются: аэрация, обработка активированным углем, обработка химическими реагентами-восстановителями.

Аэрирование сточных вод осуществляется путем барботирования сжатым воздухом или путем их пропускания через аэрационную башню. Процесс аэрирования позволяет не только снизить концентрацию активного хлора, но и уменьшить содержание в сточных водах легколетучей хлорорганики. Неблагоприятным обстоятельством при этом является загрязнение атмосферы.

Сорбционная доочистка обеззараженных сточных вод на активированном угле позволяет не только снизить содержание активного хлора, но и уменьшить концентрации хлорорганических и других органических соединений.

При химической обработке сточных вод, содержащих остаточные концентрации активного хлора в качестве реагентов-восстановителей, как правило, используются соединения серы. Химические соединения серы активно вступают в реакцию с остаточным хлором, разрушая свободный хлор, а после этого и хлорамины. Величина теоретической дозы серосодержащего реагента-восстановителя зависит от его химического состава и уровня pH сточных вод. Так, при pH=6,5 для удаления из сточных вод 1 мг активного хлора необходимо использовать: 0,91 мг диоксида серы ( $\text{SO}_2$ ); 1,61 мг бисульфита натрия ( $\text{NaHSO}_3$ ); 2,23 мг гипосульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ ); 1,61 мг сульфита натрия ( $\text{Na}_2\text{SO}_3$ ). Для конкретных сточных вод реальная величина дозы дехлорирующего реагента должна уточняться в процессе пробного дехлорирования, поскольку в них могут содержаться химические соединения, способные конкурировать с активным хлором при взаимодействии с реагентами-восстановителями.

При выборе дехлорирующего реагента учитываются многие факторы, в частности: цена реагента, срок и условия его хранения, расходы на транспортировку и т.д.

На очистных сооружениях небольшой производительности предпочтительным будет использование сухих дехлорирующих реагентов (бисульфит натрия, сульфит натрия). Эти реагенты безопасны и пригодны для длительного хранения, удобны в процессе эксплуатации. Меньшее распространение получил гипосульфит натрия, так как он имеет большую стоимость и его эффективность существенно зависит от уровня pH обрабатываемых сточных вод.

Наибольшей эффективностью в процессе дехлорирования сточных вод обладает диоксид серы, являющийся газом, который при растворении в воде образует сернистую кислоту. Процессы хранения, растворения в воде и дозирования газообразного реагента связаны с существенными технологическими трудностями, в связи с чем его использование целесообразно на крупных очистных сооружениях, где имеются

достаточный штат обслуживающего персонала и условия для безопасного хранения газообразного реагента.

После введения в сточные воды дехлорирующего реагента следует обеспечить необходимую продолжительность контакта.

При использовании диоксида серы или сульфата натрия продолжительность контакта с дехлорирующим реагентом должна быть не менее 2 минут, при использовании гипосульфита натрия продолжительность контакта должна быть не менее 30 минут.

Для введения дехлорирующих реагентов в сточные воды, прошедшие процесс хлорирования, может быть использовано стандартное оборудование, применяемое при реагентном обеззараживании.

В процессе реагентного дехлорирования сточных вод необходимо строго поддерживать дозу дехлорирующего реагента. Уменьшение концентрации дехлорирующего реагента приводит к повышению содержания активного хлора в сточных водах, сбрасываемых в открытый водоем. Передозировка дехлорирующего реагента обеспечит снижение концентрации кислорода в сточных водах, что потребует дополнительной аэрации перед сбросом в водоем.

Технология хлорирования сточных вод является более экономичной по сравнению с альтернативными технологиями обеззараживания сточных вод.

В работе [2] приведены результаты анализа литературных источников, посвященных проблемам обеззараживания сточных вод в США. В литературном обзоре было описано 162 канализационных очистных сооружения. Обеззараживание сточных вод, прошедших биологическую очистку методом хлорирования, осуществляется на 64 % очистных сооружений (на 103 канализационных станциях), из них на 27 канализационных очистных сооружениях внедрена технология дехлорирования сточных вод. На оставшихся 59 канализационных очистных сооружениях используются технологии обеззараживания сточных вод методом ультрафиолетового облучения (53 станции), озонирования (6 станций).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что основным методом обеззараживания является метод хлорирования.

Несмотря на экономичность и высокую эффективность метода хлорирования в отношении патогенных бактерий, этот метод не обеспечивает необходимой эпидемиологической безопасности в отношении вирусов [1].

Повысить эффективность процесса обеззараживания сточных вод активным хлором можно за счет аэрации объема контактной камеры. Использование приема барботирования сжатым воздухом объема контактной камеры в процессе обеззараживания сточных вод при их взаимодействии с активным хлором, в отличие от метода последующего дехлорирования обеззараженных сточных вод аэрацией, позволяет реализовать ряд процессов, повышающих эффективность обработки сточных вод окислителем.

Технологический эффект достигается за счет:

1) специфического высокоградиентного перемешивания сточных вод всплывающими пузырьками воздуха (величина локального градиента скорости на поверхности всплывающего пузырька диаметром 3 мм достигает величины  $G_n = 2000 \text{ c}^{-1}$ );

2) образования границы раздела фаз (газ – жидкость), обладающей избыточной поверхностной энергией;

3) десорбции (отдувки) из сточных вод легколетучих соединений;

4) насыщения сточных вод кислородом воздуха.

В работе [3] была предложена и исследована технологическая схема глубокой доочистки хозяйственно-бытовых сточных вод, прошедших биологическую очистку. Данная схема предусматривает их обработку активным хлором и аэрирование с последующим 30-минутным отстаиванием.

В табл. 1 приведены показатели хозяйственно-бытовых сточных вод, отобранных на выходе из вторичных отстойников и прошедших обработку активным хлором



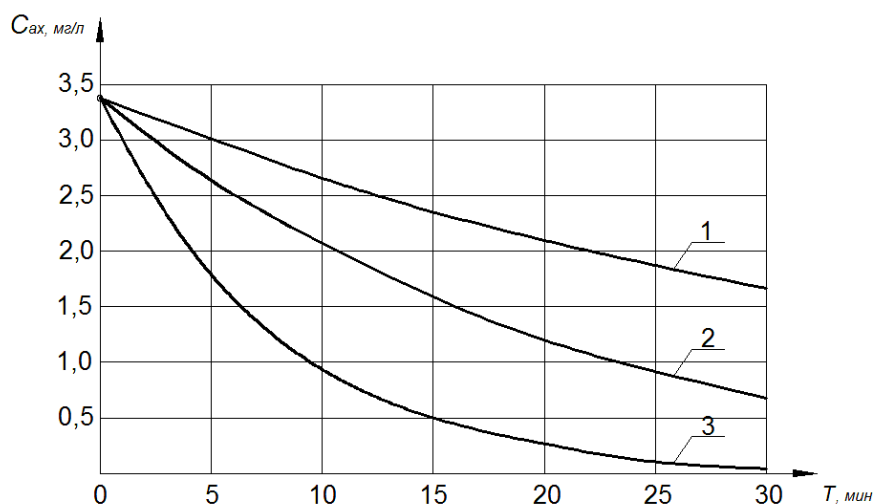
совместно с аэрацией и 30-минутным отстаиванием, а также показатели сточных вод после хлорирования и 30-минутного отстаивания по данным, взятым из [3].

Т а б л и ц а 1

| Наименование показателей | Концентрация загрязнений в исходных сточных водах | Концентрация загрязнений в сточных водах после хлорирования, аэрации и 30-минутного отстаивания | Эффект очистки | Концентрация загрязнений в сточных водах после хлорирования и 30-минутного отстаивания | Эффект очистки |
|--------------------------|---|---|----------------|--|----------------|
| 1                        | 2   | 3   | 4              | 5  | 6              |
| БПК <sub>5</sub> , мг/л  | 24,8  | 5,3   | 78,6           | 9,3  | 62,5           |
| ХПК, мг/л                | 104,0   | 45,3  | 56,4           | 62,4   | 41,6           |
| Взвешенные вещества      | 18,4  | 1,5   | 91,8           | 3,2  | 82,6           |

Данные, приведенные в табл. 1, свидетельствуют о том, что дополнительная аэрация контактной камеры позволяет при сохранении надежного эффекта обеззараживания сточных вод существенно повысить эффект удаления органических загрязнений и взвешенных веществ.

Нами были проведены лабораторные исследования кинетики процесса изменения концентрации активного хлора в сточных водах, прошедших полную биологическую очистку на аэротенках-вытеснителях канализационных очистных сооружений г. Заречного, Пензенской области. Смесь сточных вод с хлорной водой, поступающей из хлораторной, отбиралась из распределительной камеры, установленной перед контактными резервуарами КОС (г. Заречный), и через равные промежутки времени проводился химический анализ концентрации активного хлора  $C_{ax}$  (мг/л). Полученные результаты представлены в виде графиков, изображенных на рисунке.



Графики зависимостей содержания активного хлора в сточных водах  $C_{ax}$  (мг/л) от продолжительности контакта  $T$  (ч):

- 1 – смесь сточных вод, прошедших полную биологическую очистку на аэротенках-вытеснителях, с хлорной водой;
- 2 – смесь сточных вод, прошедших полную биологическую очистку на аэротенках-вытеснителях, с хлорной водой, барботируемая сжатым воздухом;
- 3 – смесь сточных вод, прошедших полную биологическую очистку на аэротенках-вытеснителях, с хлорной водой, барботируемая сжатым воздухом с добавлением раствора феррата натрия

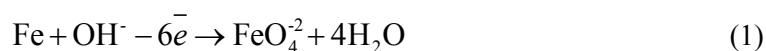
Во второй серии опытов смесь сточных вод с хлорной водой в процессе контакта подвергалась барботированию сжатым воздухом. Сжатый воздух подавался в керамический диспергатор, в результате чего образовывались всплывающие пузырьки воздуха диаметром  $d_{п} = 3-6$  мм. Интенсивность аэрации поддерживалась на уровне  $I = 0,5 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ .

В третьей серии опытов в процессе аэрации смеси сточных вод с хлорной водой дозировался раствор феррата натрия.

Феррат натрия получали путем электрохимического окисления железа в процессе обработки 30 % водного раствора гидроксида натрия в электролизере с растворимыми железными электродами. С целью повышения выхода по току основного продукта, прикатодные и прианодные области электролита в электролизере разделили неселективной мембраной, что позволило предотвратить восстановление на катоде образовавшегося феррата натрия. Концентрация феррата натрия в растворе, прошедшего электроактивационную обработку, достигала величины 5 %.

Раствор феррата натрия синтезировался в мембранном электролизере с железными электродами в процессе протекания следующих реакций:

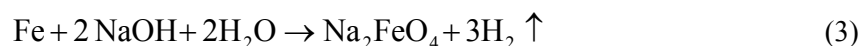
анодный процесс



катодный процесс



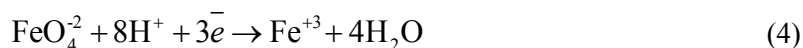
суммарное уравнение реакции



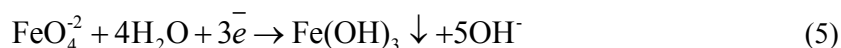
Феррат натрия является одним из самых мощных реагентов-окислителей. Его окислительный потенциал на 6 % превосходит окислительный потенциал озона. Повышенная окислительная активность и дезинфицирующие свойства феррат-ионов были описаны многими авторами [4, 5].

Величина окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов определяется уровнем pH среды.

Величина окислительно-восстановительного потенциала феррат-ионов в кислой среде достигает  $E^0 = +2,2 \text{ В}$ .



В нейтральной и щелочной среде феррат-ионы имеют значение окислительно-восстановительного потенциала  $E^0 = +0,72 \text{ В}$ .



Феррат натрия является экологически чистым реагентом-окислителем, поскольку в процессе его восстановления образуется нетоксичное соединение, обладающее ярко выраженными коагулирующими свойствами, – гидроксид железа (III).

В аэрируемый объем смеси сточных вод с хлорной водой добавляли 5 % раствор феррата натрия в количестве 0,02 мг/л, что позволило повысить значение окислительно-восстановительного потенциала обрабатываемых сточных вод, в результате чего удалось существенно увеличить интенсивность процесса их дехлорирования.

Добавление феррата натрия в процессе хлорирования сточных вод и их аэрации позволило достичь уровня требований, предъявляемых в настоящее время к качеству сточных вод, сбрасываемых в открытые водоемы (концентрация остаточного активного хлора менее 0,1 мг/л), и обеспечить высокий дезинфицирующий эффект.

Нами было выдвинуто предположение, что процесс изменения концентрации активного хлора во времени (графики, изображенные на рисунке) является реакцией первого порядка и может быть описан формулой

$$\frac{dc}{dt} = -K_p \cdot C, \text{ мг/(А}\cdot\text{ч)}, \quad (6)$$

где  $K_p$  – коэффициент скорости реакции дехлорирования.

Разделяя переменные в (6)

$$\frac{dc}{c} = -K_p \cdot dt \quad (7)$$

и интегрируя уравнение (7) в интервале изменения переменных от  $C_0$  до  $C_T$  и от 0 до  $T$ , получаем уравнение, описывающее кинетику процесса дехлорирования:

$$C_T = C_0 \cdot e^{-K_T T}, \text{ мг/л}. \quad (8)$$

Величина коэффициента скорости  $K_T$  может быть в соответствии с (8) вычислена по формуле

$$K_T = \frac{1}{T} \ln \frac{C_0}{C_T}. \quad (9)$$

Обработка экспериментальных данных, представленных в виде графиков, изображенных на рисунке, позволила получить результаты, представленные в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

| Наименование показателя   | Продолжительность процесса дехлорирования T (ч) |       |       |       |       |       |       |
|---|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|   | 0   | 0,083 | 0,167 | 0,250 | 0,333 | 0,417 | 0,500 |
| Концентрация активного хлора в смеси сточных вод с хлорной водой $C_{ax}^1$ (мг/л) в момент времени T (ч)   | 3,40  | 3,02  | 2,67  | 2,38  | 2,11  | 1,87  | 1,66  |
| Величина коэффициента скорости дехлорирования $K_T^1$ (ч <sup>-1</sup> )  | -   | 1,428 | 1,447 | 1,427 | 1,431 | 1,434 | 1,434 |
| Концентрация активного хлора в смеси сточных вод с хлорной водой $C_{ax}^2$ (мг/л), аэрируемой в течение времени T (ч)                              | 3,40  | 2,63  | 2,03  | 1,56  | 1,21  | 0,93  | 0,72  |
| Величина коэффициента скорости дехлорирования $K_T^2$ (ч <sup>-1</sup> )  | -   | 3,094 | 3,088 | 3,116 | 3,100 | 3,109 | 3,105 |
| Концентрация активного хлора в смеси сточных вод с хлорной водой $C_{ax}^3$ (мг/л), аэрируемой в течение времени T (ч) с добавлением феррата натрия | 3,40  | 1,77  | 0,92  | 0,48  | 0,25  | 0,13  | 0,067 |
| Величина коэффициента скорости дехлорирования $K_T^3$ (ч <sup>-1</sup> )  | -   | 7,865 | 7,827 | 7,831 | 7,830 | 7,827 | 7,854 |

Как следует из данных, приведенных в табл. 2, прием аэрирования объема контактного резервуара позволяет увеличить значение коэффициента скорости процесса

дехлорирования с  $K_T^1 = 1,4$  (ч<sup>-1</sup>) до  $K_T^2 = 3,1$  (ч<sup>-1</sup>). При дополнительном введении раствора феррата натрия повышается величина коэффициента  $K_T^3$  до значения 7,9 (ч<sup>-1</sup>).

Использование технологического приема аэрирования объема контактных резервуаров с дозированием раствора феррата натрия на станциях биологической очистки позволит гарантированно обеспечить обеззараживание сточных вод до нормативного уровня и исключить отрицательное воздействие хлорированных сточных вод на экосистему водных объектов.

### Список литературы

1. Русанова, Н.А. Хлорирование и дехлорирование городских сточных вод / Н.А. Русанова, Г.В. Овечкина // Водоснабжение и санитарная техника. – 2012. – №2. – С. 30–32.
2. Загорский, В.А. Методы обеззараживания сточных вод / В.А. Загорский, М.Н. Козлов, Д.А. Данилович // Водоснабжение и санитарная техника. – 1998. – №2. – С. 2–5.
3. Харин, К.С. Глубокая очистка городских сточных вод: автореф. дис. ... канд. техн. наук / К.С. Харин. – СПб., 2001. – 24 с.
4. Использование технологии электрохимической активации щелочных реагентов для интенсификации работы локальных очистных сооружений / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев, М.Я. Яхкинд // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – №1. – С. 120–124.
5. Интенсификация деструктивной очистки производственных сточных вод с использованием окислителя на основе феррата натрия / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, Н.Н. Ласьков, В.А. Князев // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – №2. – С. 152–156.

### References

1. Rusanova, N.A. Chlorination and dechlorination of urban waste water / N.A. Rusanova, G.V. Ovechkina // Water supply and sanitary technique. – 2012. – No.2. – P. 30–32.
2. Zagorskiy, V.A. Methods of decontamination of waste waters / V.A. Zagorskiy, M.N. Kozlov, D.A. Danilovich // Water supply and sanitary technique. – 1998. – No.2. – P. 2–5.
3. Kharin, K.S. Deep treatment of urban waste water: abstract of the thesis for the degree of candidate of sciences / K.S. Kharin. – SPb., 2001. – 24 p.
4. The use of the technology of alkaline reagents electrochemical activation for the intensification of local treatment facilities performance / S.Yu. Andreev, M.I. Yakhkind, I.A. Gar'kina, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2015. – No.1. – P. 120–124.
5. Intensification of destructive waste water purification using an oxidant on the basis of ferrate sodium / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, N.N. Laskov, V.A. Knyazev // Regional architecture and engineering. – 2014. – No.2. – P. 152–156.

*Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.*

410054, Россия, г. Саратов,  
ул. Политехническая, 77,  
тел.: (8452) 51-50-18

**Усачев Александр Прокофьевич**,  
доктор технических наук, профессор  
кафедры «Теплогазоснабжение,  
вентиляция, водообеспечение и прикладная  
газодинамика»

E-mail: usachev-ap@mail.ru

*АО "Гипрониигаз".*

410012, Россия, г. Саратов,  
проспект им. Кирова С.М., д. 54,  
тел.: (845-2) 74-94-95

**Шурайц Александр Лазаревич**,  
доктор технических наук, генеральный  
директор АО «Гипрониигаз»

**Салин Дмитрий Валерьевич**,  
начальник отдела АО «Гипрониигаз»

**Усуев Заур Мухтарович**,  
начальник отдела АО «Гипрониигаз»

**Хомутов Антон Олегович**,  
начальник отдела АО «Гипрониигаз»

*Saratov State Technical University named  
after Gagarin Yu.A.*

410054, Russia, Saratov,  
77, Politechnicheskaya St.,  
tel.: (8452) 51-50-18

**Usachev Alexander Prokofievich**,  
Doctor of Sciences, Professor of the  
department «Heat and Gas Supply,  
Ventilation, Water Supply and Applied  
Hydrogasodynamics»

E-mail: usachev-ap@mail.ru

*Joint Stock Company "Gipronigas"*

410012, Russia, Saratov,  
54, Kirov S.M. Avenue,  
tel.: (845-2) 74-94-95

**Shurayts Alexander Lazarevich**,  
Doctor of Sciences, General Director of JSC  
«Gipronigas»

**Salin Dmitry Valerievich**,  
Head of the department of JSC «Gipronigas»

**Usuyev Zaur Mukhtarovich**,  
Head of the department of JSC «Gipronigas»

**Khomutov Anton Olegovich**,  
Head of the department of JSC «Gipronigas»

## РАЗРАБОТКА ПРИНЦИПОВ УСТРОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЯ БЫСТРОСЪЕМНЫХ КРЫШЕК С НЕПРЕРЫВНЫМ КОНТРОЛЕМ ИХ ГЕРМЕТИЧНОСТИ, УСТАНОВЛИВАЕМЫХ В ГАЗОВЫХ ФИЛЬТРАХ ГАЗОРЕГУЛЯТОРНЫХ ПУНКТОВ ВЫСОКОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ

А.П. Усачев, А.Л. Шурайц, Д.В. Салин, З.М. Усуев, А.О. Хомутов

Разработаны принципы устройства и применения быстросъемных крышек газовых фильтров с непрерывным контролем их герметичности. Результаты испытаний предлагаемой конструкции быстросъемной крышки показывают сокращение продолжительности проведения операций ее демонтажа и монтажа в 5,4 раза, по сравнению с существующим аналогом.

*Ключевые слова: быстросъемная крышка, газовый фильтр, непрерывный контроль, герметичность, принципы устройства и применения*

## DEVELOPMENT AND USAGE OF QUICK WITHDRAWABLE LIDS WITH UNCEASING CHECKING OF THEIR HERMETICITIES INSTALLED IN GAS FILTER OF GAS ADJUSTING POINTS OF HIGH RECEPTION CAPACITY

A.P. Usachev, A.L. Shurayts, D.V. Salin, Z.M. Usuev, A.O. Homutov

Designed principles of a device and usage of quick withdrawable lids of a gas filter with unceasing checking of their hermeticities. Results of tests of the lid with quick withdrawable

lids show the reduction of the length of the operation its takedown and installation in 5,4 times, in contrast with existing analogue.

*Keywords: quickly removed lid, gas filter, unceasing checking, hermeticity, device arrangement and using*

### Введение

Несмотря на широкое применение в газорегуляторных пунктах (ГРП) большой пропускной способности современной высокоточной регулирующей арматуры [1], газовые фильтры по-прежнему остаются слабым звеном в общей системе обеспечения бесперебойности и безопасности эксплуатации таких ГРП [2]. Одним из основных недостатков современных фильтров является высокая продолжительность монтажа и демонтажа их съемных крышек, осуществляемых для периодической чистки фильтрующих элементов (ФЭ). Здесь монтаж и демонтаж круглой пластины, большого количества болтовых соединений, замена уплотнительной прокладки характеризуются значительной продолжительностью. При частом проведении операций по демонтажу герметизирующих соединений, как это имеет место в газовых фильтрах при использовании газа с повышенным содержанием механических примесей, плоские уплотнительные прокладки теряют свою герметичность еще до наступления момента плановой замены на новые. В связи с этим разработка принципов устройства и применения быстросъемных крышек в газовых фильтрах систем газоснабжения является актуальной научно-практической задачей.

### 1. Разработка принципов устройства и применения быстросъемных крышек с непрерывным контролем их герметичности

Разработка, исследование и внедрение быстросъемных крышек в газовых фильтрах, в рамках создания эффективных систем очистки природного газа, является одним из важных направлений в стратегии технического развития АО «Гипрониюгаз».

С целью решения поставленной задачи предлагается новый принцип обеспечения и постоянного контроля герметичности соединения корпуса и съемной пластины с помощью двух расположенных друг за другом уплотнительных элементов с образованием между ними пространства, утечки газа в которое через первый уплотнительный элемент непрерывно контролируются посредством прибора, соединенного с указанным пространством через отверстие в корпусе.

Сокращение продолжительности демонтажа и монтажа съемных крышек газового фильтра достигается за счет соединения корпуса и съемной пластины с помощью параллельно связанных между собой фиксирующих сегментов, одновременно устанавливаемых в паз, выполненный по всему периметру корпуса, посредством механизма, преобразующего поворот шестерни на  $90^\circ$  в поступательное движение фиксирующих сегментов.

В соответствии с предлагаемым принципом разработано устройство быстросъемной крышки (патент RU №165142U1 [3]), которое содержит цилиндрический корпус 1 (рис. 1) и съемную круглую пластину 7, вставленную в корпус 1 и установленную на выступ 13, выполненный на его внутренней поверхности. Герметичность обеспечивают два уплотнительных кольца 4 и 6, расположенные в кольцевых пазах 3 и 5, выполненных на внутренней поверхности цилиндрического корпуса 1 над выступом 13 и плотно прижатых к боковой поверхности съемной круглой пластины 7 с образованием кольцевой камеры 8 между стенкой корпуса 1 и съемной круглой пластиной 7, застопоренной в корпусе 1. В стенке корпуса 1 между пазами 3 и 5 выполнено сквозное отверстие 10, в которое устанавливается прибор 9 для контроля утечки газа в камеру 8 через первое уплотнительное кольцо 4.

Прибор контроля избыточного давления газа 9 кроме чувствительного элемента – датчика давления – включает контроллер, который имеет каналы для подключения устройств световой и звуковой сигнализации о появлении избыточного давления газа в кольцевой камере 8, а также выходные каналы для устройств отключения подачи газа

в газовый фильтр, передачи данных на пульт управления, предупреждения диспетчерского и технического персонала.

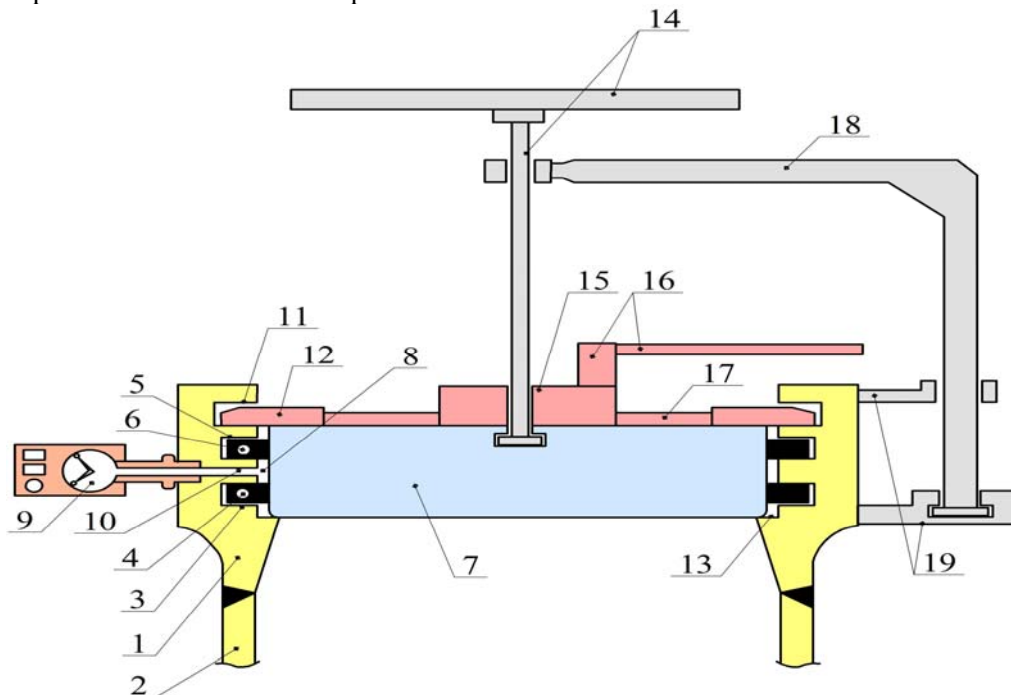


Рис. 1. Схема предлагаемой конструкции быстросъемной крышки с непрерывным контролем ее герметичности для газового фильтра высокой пропускной способности:

1 – корпус быстросъемной крышки; 2 – корпус фильтра; 3,5 – первый и второй кольцевые пазы; 4,6 – первое и второе уплотнительные кольца; 7 – круглая пластина; 8 – камера; 9 – прибор контроля возникновения избыточного давления газа; 10 – отверстие; 11 – кольцевой паз; 12 – фиксирующие сегменты; 13 – выступ; 14 – винт и штурвал для подъема круглой плоской пластины; 15 – механизм для демонтажа и повторной установки фиксирующих сегментов 7; 16 – механический рычажный привод к механизму 15; 17 – штанги, соединяющие механизм 15 и фиксирующие сегменты 12; 18 – консольная конструкция; 19 – опора и втулка для консольной конструкции 18.

Демонтаж быстросъемной крышки осуществляется следующим образом. При получении сигнала от приборов контроля перепада давления о загрязнении фильтрующих элементов, расположенных во внутреннем объеме газового фильтра, необходимо выполнить следующие операции: последовательный демонтаж комплекта фиксирующих сегментов 12 из кольцевого паза 11 путем поворота на  $90^\circ$  рукоятки механического рычажного привода 16, преобразующего вращательное движение шестерни в поступательное перемещение штанг 17 и присоединенных к ним фиксирующих сегментов 12 в сторону к коробке механизма 15; подъем пластины 7 выше отметки верха корпуса 1, после того как сегменты 12 полностью выйдут из сочленения с пазом 11, путем вращения винта 14 в резьбовой втулке консольной конструкции 18 и ее последующее перемещение в сторону от корпуса 1 путем поворота консольной конструкции 18 во втулке и опорном устройстве 19; демонтаж загрязненных ФЭ, их осмотр, очистку или замену и установку во внутренний объем корпуса 2 газового фильтра. Повторная установка быстросъемной крышки осуществляется в обратном порядке.

В процессе эксплуатации газового фильтра прибор 9 контроля избыточного давления через сквозное отверстие 10 стенки корпуса 1 измеряет давление газа и постоянно контролирует появление избыточного давления в кольцевой камере 8. При разгерметизации рабочего уплотнительного кольца 4 газ начинает поступать в кольцевую камеру 8, создавая в ней избыточное давление, что фиксирует прибор 9. При появлении избыточного давления газа в кольцевой камере 8, равного фактическому расчетному на входе в ГРП с учетом гидравлических потерь в подводящем к нему

межпоселковом газопроводе, то есть  $P_{\phi} = 1,1 \div 1,2$  МПа, прибор 9 включает световой и звуковой сигнализаторы (на рис.1 не показаны), которые подают звуковой или световой сигнал обслуживающему техническому персоналу или сотрудникам центрального диспетчерского пункта, в том числе по беспроводной связи.

При устранении причины поступления газа в кольцевую камеру 8 осуществляют включение подачи газа в фильтр под контролем обслуживающего технического персонала.

## 2. Экспериментальное определение продолжительности демонтажа и монтажа быстросъемной крышки и проверка обеспечения непрерывного контроля герметичности ее соединения с корпусом

С целью определения расчетных значений эксплуатационных параметров и проверки обеспечения непрерывного контроля герметичности для предлагаемого варианта, согласно патенту RU №165142U1 [3], была изготовлена, а затем испытана быстросъемная крышка внутренним диаметром  $D=500$  мм для установки на фильтр пропускной способностью  $85000 \text{ м}^3/\text{ч}$ . Испытания были проведены в научно-производственном центре АО «Гипрониюгаз» на испытательном стенде с использованием воздуха высокого давления в качестве рабочей среды. Общий вид узла быстросъемной крышки диаметром  $D=500$  мм на стадии сборки и испытаний приведен на рис. 2.

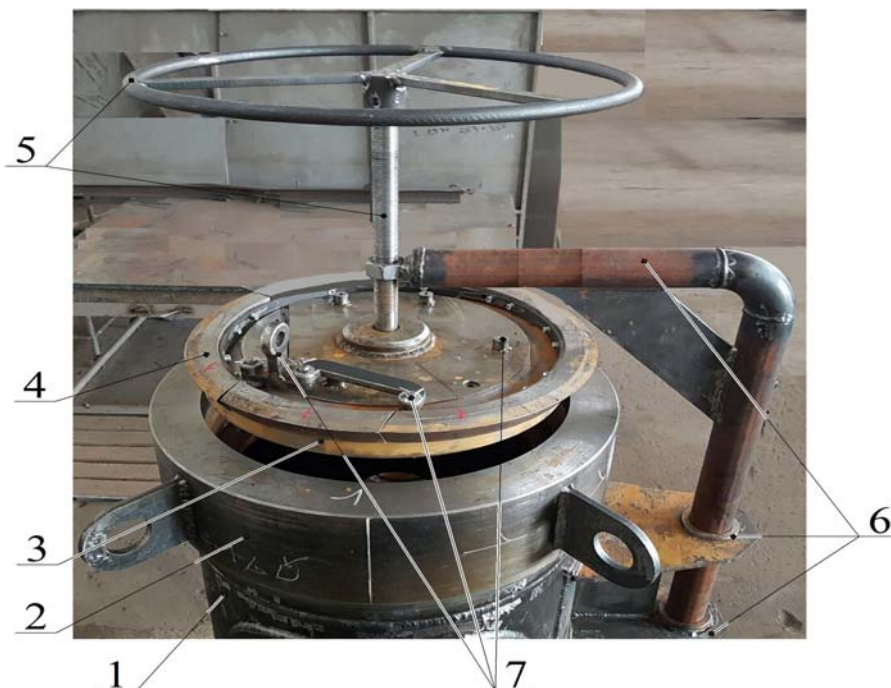


Рис. 2. Общий вид на стадии сборки и испытаний узла быстросъемной крышки, установленного на корпусе газового фильтра внутренним диаметром 500 мм:

- 1- корпус фильтра; 2- корпус быстросъемной крышки; 3 – плоская круглая пластина;
- 4 – фиксирующие сегменты, уложенные на плоской круглой пластине 3; 5 – винт и штурвал подъемного и поворотного устройства; 6 – кронштейн, втулка и опора подъемного и поворотного устройства; 7 – детали к устройству для демонтажа и повторной установки фиксирующих сегментов 4 в кольцевой паз корпуса 2 быстросъемной крышки

Испытания были проведены для наиболее совершенного из существующих № 1 и предлагаемого №2 вариантов съемных крышек в три этапа: 1-й этап – испытания продолжительности демонтажа и повторной установки съемной крышки; 2-й этап – испытания герметичности соединений на основе уплотнительных колец (6 и 4 для варианта №2 (см. рис. 1); 3-й этап – испытания на срабатывание прибора 9 при утечках через уплотнительное кольцо 4 для варианта №2.



Первым был испытан наиболее совершенный вариант съемной крышки фильтра марки ФГ-350-12-Ф-ИП-200 УХЛ1 ТУ 4859-080-03321549-2014 конструкции АО «Гипрониигаз» с оптимальным соотношением высоты корпуса и его диаметра. Вторым испытывался предлагаемый вариант съемной крышки, показанный на рис. 1.

На первом этапе проводились испытания с целью определения продолжительности операции демонтажа и монтажа съемных крышек, установленных на фильтрах пропускной способностью 85000 м<sup>3</sup>/ч с внутренним диаметром корпуса 500 мм, для сравниваемых вариантов. Результаты испытаний приведены в таблице.

Продолжительность демонтажа и монтажа съемной крышки внутренним диаметром 500 мм для предлагаемого и существующего вариантов

| Название варианта | Продолжительность проведения операций, ч |                                    |                             |                               |                                  |                    |       |
|-------------------|--|------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------|--------------------|-------|
|                   | демонтажа соединения                     | демонтажа уплотнительной прокладки | подъема и поворота пластины | поворота и опускания пластины | монтажа уплотнительной прокладки | монтажа соединения | общая |
| Существующий №1   | 0,4                                      | 0,2                                | 0,05                        | 0,05                          | 0,1                              | 0,5                | 1,3   |
| Предлагаемый №2   | 0,06                                     | 0,0                                | 0,05                        | 0,05                          | 0,0                              | 0,08               | 0,24  |

Из таблицы видно, что общая продолжительность демонтажа и монтажа съемной крышки внутренним диаметром 500 мм для предлагаемого варианта №2 составила 0,24 часа, что в 5,4 раза меньше по сравнению с наиболее совершенным из существующих вариантов №1 с оптимальным отношением высоты к диаметру корпуса фильтра. Следует отметить, что необходимость установки строительных лесов для фильтров с оптимальным отношением высоты корпуса к диаметру, когда отметка крышки над уровнем пола составляет 2,9 м, увеличивает продолжительность работ для варианта №1 в связи с неудобством проведения операций по демонтажу болтовых соединений, особенно с помощью гаечных ключей с удлиненными рычагами. Вместе с тем для предлагаемого варианта № 2 необходимость установки лестницы-стремянки практически не влияет на продолжительность проведения всех операций, по сравнению с выполнением демонтажа и установки непосредственно с пола, поскольку обеспечивается высокий уровень эргономичности и отпадает необходимость приложения значительных физических усилий.

Испытания на втором этапе по обеспечению герметичности, проведенные в научно-производственном центре АО «Гипрониигаз» на испытательном стенде с использованием воздуха с давлением 1,2 МПа в качестве рабочей среды, показали, что при времени выдержки 120 с видимых пузырьков воздуха на обмыленных участках соединений, находящихся под давлением (см. рис. 2), обнаружено не было и оба уплотнительных элемента – рабочее и резервное, на основе уплотнительных резиновых колец 4 и 6, соответствуют классу герметичности «А» по ГОСТ 9544 – 2015 [4].

Испытания на третьем этапе показали срабатывание прибора 9 при появлении избыточного давления в камере 8, равного фактическому расчетному, то есть 1,2 МПа.

### Заключение

1. Предложен новый принцип обеспечения и постоянного контроля герметичности соединения корпуса и съемной пластины с помощью двух расположенных друг за другом уплотнительных элементов с образованием между ними пространства, утечки газа в которое через первый уплотнительный элемент непрерывно контролируются посредством прибора, соединенного с указанным пространством через отверстие в корпусе.

Сокращение продолжительности демонтажа и монтажа съемных крышек газового фильтра достигается путем соединения корпуса и съемной пластины с помощью

параллельно связанных между собой фиксирующих сегментов, одновременно устанавливаемых в паз, выполненный по всему периметру корпуса, посредством механизма, преобразующего поворот шестерни на 90° в поступательное движение фиксирующих сегментов.

2. Испытания на обеспечение герметичности показали, что при времени выдержки 120 секунд оба соединения – рабочее и резервное, на основе уплотнительных резиновых колец, – соответствуют классу герметичности «А» по ГОСТ 9544–2015.

3. Результаты испытаний предлагаемой конструкции быстросъемной крышки показывают сокращение продолжительности проведения операций ее демонтажа и монтажа в 5,4 раза, по сравнению с существующим аналогом, и подтверждают обеспечение постоянного контроля герметичности соединения съемной крышки и корпуса газового фильтра.

### Список литературы

1. Шурайц, А.Л. Высокотехнологичные ГРП – путь к повышению надежности газораспределительных сетей / А.Л. Шурайц, А.П. Усачев, С.В. Густов // Газ России. – 2010. – № 41. – С. 56–60.

2. Шурайц, А.Л. Фильтры предварительной очистки – слабое звено в общей цепи обеспечения безопасности газорегуляторных пунктов высокой пропускной способности / А.Л. Шурайц, М.С. Недлин, С.В. Густов // Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа: материалы научно-практической конференции. – Уфа, 2014. – С. 435–437.

3. Патент на полезную модель RU №165142U1. Узел перекрытия люка газового оборудования высокого давления / А.Л. Шурайц, А.П. Усачев, А.В. Рулев, З.М. Усуюев; опубл. 10.10.2016. Бюл. № 28. Дата подачи заявки 19.01. 2016.

4. ГОСТ Р 54808–2011. Арматура трубопроводная. Нормы герметичности затворов. – М.: Стандартиформ, 2012. – 54 с.

### References

1. Shurait, A.L. High-tech hydraulic fracturing – a way to improve the reliability of gas distribution networks / A.L. Shurait, A.P. Usachev, S.V. Gustov // Gas of Russia. – 2010. – No. 41. – P. 56–60.

2. Shurait, A.L. Filters of pre-treatment are weak link in the overall chain of security of gas regulation of high capacity / A.L. Shurait, M.S. Nedlin, S.V. Gustov // Problems and methods of ensuring the reliability and security of oil transportation, oil products and gas: materials of scientific-practical conference. – Ufa, 2014. – P. 435–437.

3. The patent for useful model RU №165142U1. Node overlapping hatch gas equipment high pressure / A. L. Shurait, A. P. Usachev, A.V. Rulev, Z. M. Usuev; publ. 10.10.2016. Bull. No. 28. Filing date 19.01. 2016.

4. GOST R 54808–2011. Pipeline fittings. Norms of tightness of the valve. – M.: STANDARTINFORM, 2012. – 54 p.

# АРХИТЕКТУРА

# ARCHITECTURE

УДК 314.17/314.18

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Соколова Наталья Владимировна**,  
кандидат архитектуры, доцент, декан  
архитектурного факультета  
E-mail: dekarx@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Sokolova Natalia Vladimirovna**,  
Candidate of Architecture, Associate Professor,  
Dean of Faculty of Architecture  
E-mail: dekarx@pguas.ru

## ДЕМОГРАФИЧЕСКИЙ ПОТЕНЦИАЛ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.В. Соколова

Дается оценка демографического потенциала Пензенской области на основе анализа его качественных и количественных показателей в ретроспективе, на сегодняшний день и в ближайшей перспективе для дальнейшего использования при разработке схемы территориального планирования.

*Ключевые слова: демографический потенциал, численность населения, естественное движение населения, механическое движение населения, возрастная структура населения*

## DEMOGRAPHIC POTENTIAL OF THE PENZA REGION

N.V. Sokolova

Assesses of the demographic potential of the Penza region on the basis of the analysis of qualitative and quantitative indicators in retro-vision, today and in the near future for further use in the development of territorial planning schemes are given.

*Keywords: demographic potential, population, population natural movement, population mechanical movement, population age structure*

В современном мире человеческий потенциал выступает важнейшим фактором экономического роста, поскольку именно от его состояния зависит использование всех прочих ресурсов территории. В свою очередь, основу человеческого потенциала составляет демографический потенциал. От численности, структуры и качества демографического потенциала будет напрямую зависеть численность и качество трудовых ресурсов. Кроме того, численность населения важна с точки зрения освоения и заселения территорий региона, прогнозирования потребности в объектах социальной инфраструктуры.

Демографический потенциал характеризуется количественными и качественными показателями, которые являются критериями его оценки и сравнения по регионам. Основные количественные показатели – численность населения, коэффициенты естественного и механического движения населения, уровень урбанизации. К качественным показателям можно отнести структуру и состав населения территории.

Изучение демографического потенциала региона является важной составляющей в разработке планов его социально-экономического и территориального развития. Цель

работы – провести оценку демографического потенциала Пензенской области на основе анализа его качественных и количественных показателей в ретроспективе, на сегодняшний день и в ближайшей перспективе для дальнейшего использования при разработке схемы территориального планирования.

Границы исследования: временные – вторая половина XX – начало XI века, территориальные – Пензенская область в административных границах.

В настоящее время Пензенская область занимает 9-е место в Приволжском федеральном округе (ПФО) по численности населения. На ее долю приходится 4,6 % от численности населения ПФО. На 01.01.2016 г. на территории Пензенской области проживало 1348,7 тыс. чел., в том числе городского населения – 920,9 тыс. человек, или 68,3 % всего населения (по ПФО и России соответственно 71,5 % и 74 %) и сельского населения – 427,8 тыс. человек, или 32,7 % (по ПФО и России соответственно 28,5 % и 26 %) [1, 2].

Численность населения Пензенской области на протяжении последних десятилетий имеет устойчивую тенденцию к снижению. Можно выделить только два периода, связанных с ростом численности населения. Первый период – с 1959 по 1970 гг. – связан с «демографической волной» и естественным приростом населения, второй период – с 1989 по 1995 гг. – связан с кризисной ситуацией на постсоветском пространстве и механическим приростом населения (рис. 1).

В период 1995–2000 гг. численность населения в целом по области сократилась на 2,5 % (в среднем по 0,6 % в год), в период 2000–2007 гг. – сократилась еще на 6,9 % (в среднем по 1 % в год). На 1.01.2016 г. численность населения Пензенской области по сравнению с 2007 г. сократилась на 3,4 % (в среднем 0,4 % в год).

С 1990-х годов Пензенская область вступила в депопуляционный тип воспроизводства населения. В 1991 г. естественный прирост населения Пензенской области стал отрицательным (–0,1 чел./1000 чел. населения). При этом следует отметить, что отрицательный естественный прирост начался в городской местности с 1992 года, а в сельской – с 1990 года (в 1990 г. в сельской местности естественный прирост составлял –3,2 чел./1000 чел. населения) [3]. Именно в этот период практически началось вымирание коренного населения области. В 1990-е годы государство утратило возможность влияния на демографические процессы, и характер естественного и механического движения населения, в том числе и в Пензенской области, складывался стихийно. Но наиболее болезненные демографические процессы в области начались после 1995 г. Со второй половины 2000-х начались позитивные изменения благодаря росту рождаемости и снижению смертности. С 2005 года по 2012 показатели естественного прироста стали увеличиваться (–8,5 и –4,1 соответственно) и на протяжении последних лет остаются стабильными, хотя по-прежнему имеют отрицательный баланс. Это одни из самых позитивных за весь переходный период процессов. Сдвиг по сравнению с показателями 1990-х и первой половины 2000-х гг. очень существенный. Характер протекающих процессов можно видеть на рис. 2.

В целом коэффициент естественного прироста по Пензенской области значительно ниже показателей как по Российской Федерации, так и по Приволжскому Федеральному округу. При этом естественная убыль населения в сельской местности практически в 2 раза выше, чем в городской местности: показатели рождаемости городского и сельского населения близки по своему значению (10,9 и 10,6 соответственно), но в сельской местности отмечаются более высокие коэффициенты смертности населения (17,0 – в сельской местности, 13,7 – в городской) [4]. Это усугубляет ситуацию на селе.

Таким образом, сокращение численности населения Пензенской области в рассматриваемые периоды шло с разными темпами. Заложенные в 1990-е годы тенденции сохраняются до наших дней. В результате демографической политики середины 2000-х годов удалось снизить темпы убыли населения, но коренным образом переломить негативную ситуацию не получилось. Экономический кризис усугубил негативные демографические процессы.

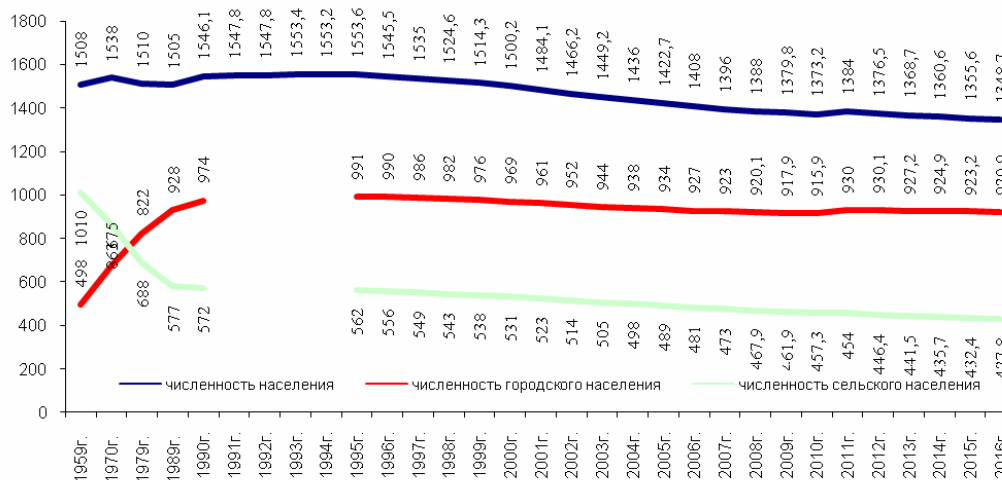


Рис. 1. Динамика численности населения Пензенской области за 1959–2016 гг., тыс. чел. [2–4]

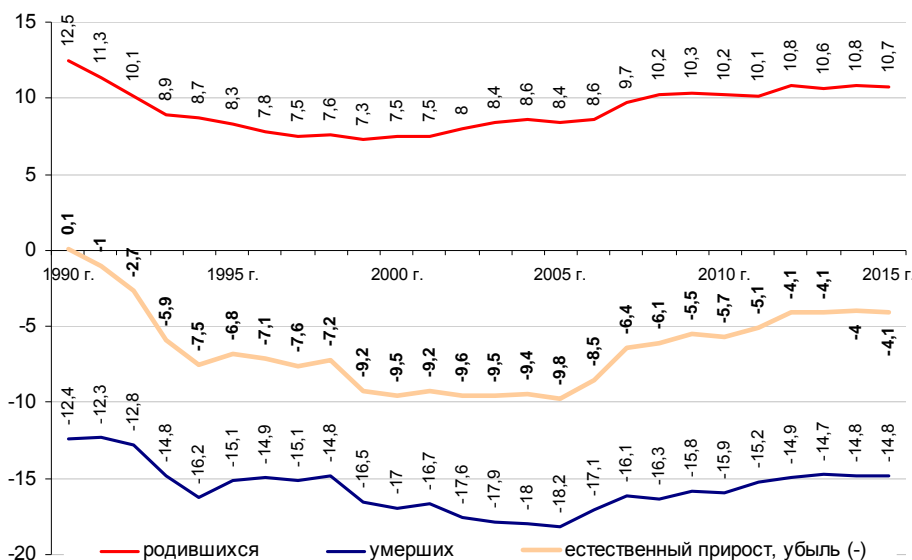


Рис. 2. Динамика естественного движения населения Пензенской области за 1990–2015 гг., чел./1000 чел. населения [2–4]

Положительные сдвиги в показателях естественного движения населения стали возможны в первую очередь благодаря увеличению рождаемости. Рождаемость увеличилась с 8,4 человек на 1000 населения в 2005 году до 10,7 человек на 1000 населения в 2015 году. Число родившихся в среднем на 1000 женщин в возрасте от 15 до 49 лет в 2014 году составило 46,2 против 28,7 в 2000 году. Следует отметить, что за период с 2003 по 2014 г. в два раза увеличилось количество детей, рожденных женщинами в возрасте от 30 до 49 лет, и снизилось число детей, рожденных женщинами в наиболее активном детородном возрасте (до 30 лет) [4]. На этот показатель оказывают значительное влияние две тенденции: первая – так называемое «отложенное рождение первого ребенка», характерная для большинства европейских стран; вторая – благодаря государственной поддержке семей при рождении второго и последующих детей увеличилось количество семей, имеющих двух и более детей.

Однако демографическая политика стимулирования рождаемости – далеко не единственный и, скорее, не главный фактор позитивных изменений. Во второй половине 2000-х в детородный возраст вошла более многочисленная когорта населения 1980-х годов рождения.

На процесс повышения рождаемости повлиял и тот факт, что число браков осталось примерно на одном уровне (6,8 браков на 1 тыс. населения в 2002 году,

6,9 браков в 2005 году, 7,0 браков – в 2015 году), а число разводов снизилось почти в два раза (с 6,2 разводов на 1 тыс. населения в 2002 году до 3,7 разводов в 2005 году и до 4,0 в 2015 году) [4].

Но в то же время современные параметры рождаемости значительно ниже, чем требуется для замещения поколений. Суммарный коэффициент рождаемости, необходимый для простого воспроизводства, составляет 2,15. В 2014 году, по данным Росстата, суммарный коэффициент рождаемости в России составил 1,750 (в городской местности – 1,588, в сельской местности – 2,318). За период с 2006 по 2013 годы суммарный коэффициент рождаемости РФ увеличился на 30,8 %. В Приволжском федеральном округе суммарный коэффициент рождаемости составил 1,89, а в Пензенской области – 1,529. Это является свидетельством вымирания населения области. Это один из самых низких показателей по Российской Федерации. По этому показателю Пензенская область входит в пятерку отстающих регионов России и находится на одном из последних мест в Приволжском федеральном округе. Ситуация, сходная с показателями Пензенской области (приблизительно 70 % замещения поколений), отмечена в Республике Мордовия и Саратовской области [1, 5, 6].

На положительную динамику показателей естественного движения населения также оказало влияние снижение смертности. Во второй половине 2000-х годов вследствие демографической волны (пожилыми стали люди малочисленного послевоенного поколения) и улучшения финансирования медицинской помощи (нацпроект «Здоровье») общий коэффициент смертности снизился и в 2015 г. составил 14,8 человек на 1000 населения. Следует также отметить одну из самых низких в Российской Федерации младенческую смертность: в Российской Федерации коэффициент младенческой смертности составил в 2014 году 7,4 (число детей, умерших в возрасте до 1 года на 1000 родившихся), в Приволжском Федеральном округе – 7,2, в Пензенской области – 5,5. С 2007 года младенческая смертность в Пензенской области уменьшилась в два раза. Это также положительным образом сказалось на естественном приросте населения [4–6].

Миграционные процессы играют существенную роль в демографической ситуации на территории Пензенской области. До 2002 года наблюдалась положительная динамика механического движения, обозначившаяся вначале 1990-х гг. В 2002 г. коэффициент миграционного прироста составил –3 чел. /1000 чел населения, что ниже среднего показателя по ПФО и России в целом. В 2003 и в 2014 годах отмечено небольшое улучшение ситуации. Но в последующие периоды этот показатель опять стал отрицательным. По данным Управления Федеральной миграционной службы по Пензенской области на начало 2015 г. миграционная убыль составила 1315 человек (рис. 3) [4].

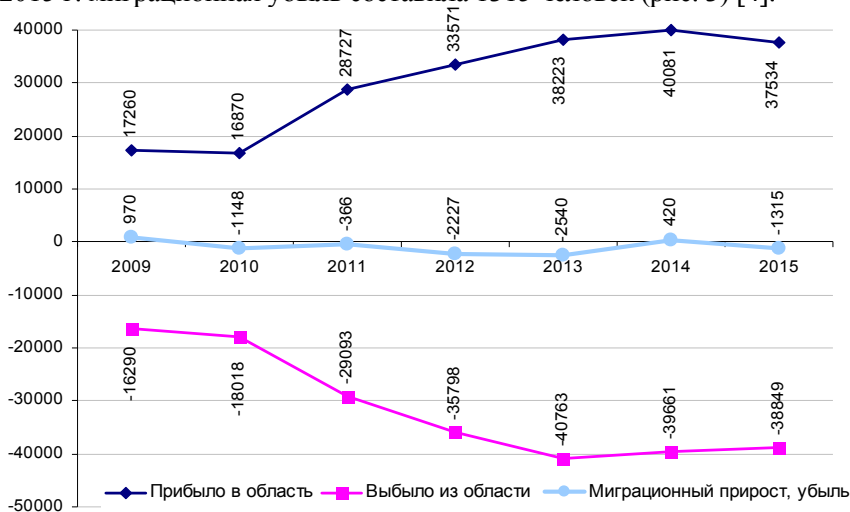


Рис. 3. Миграция населения Пензенской области за 2009-2015 гг., чел.

Отрицательное сальдо миграции населения в Пензенской области сложилось в основном за счет увеличения оттока населения в другие регионы России. Территория Пензенской области не привлекательна для мигрантов.

Снижение миграционного прироста за последние годы – общий для всей страны процесс, связанный в значительной степени с определенной стабилизацией социально-экономического и военно-политического положения в ряде стран ближнего зарубежья, откуда исходил поток мигрантов. Тем не менее, международная миграция в Пензенской области имеет положительное сальдо: в 2015 г. в Пензенскую область из стран СНГ и других зарубежных стран прибыло 5825 человека, выбыло 2842 человек. Наибольшее количество приехавших составляют граждане Таджикистана, Узбекистана и Украины, а выехавших – Таджикистана и Узбекистана. Также можно отметить наличие лиц, являющихся вынужденными переселенцами.

Вместе с тем внутрирегиональная и межрегиональная миграция во много раз превышает международную и имеет отрицательное сальдо. По сравнению с 2005 г. в области наблюдается увеличение миграционных процессов. В 2015 г. в область прибыло 37534 человек (в 2005 г. – 18801 человек), выбыло 38849 человек (в 2005 г. – 19603 человека). Этому в значительной мере способствует территориальное положение Пензенской области в структуре Российской Федерации [4].

Возрастная структура населения Пензенской области в целом схожа с общероссийской. Она имеет волнообразный характер, соответствующий тридцатилетнему периоду с понижающейся амплитудой. Возрастная структура населения Пензенской области за 2000, 2005, 2010 и 2015 гг. отражена на рис. 4. Очевидно, что в ближайшее десятилетие следует ожидать значительного спада рождаемости и увеличения смертности в связи со вступлением в детородный возраст поколения 90-х и увеличения доли старшей возрастной группы.

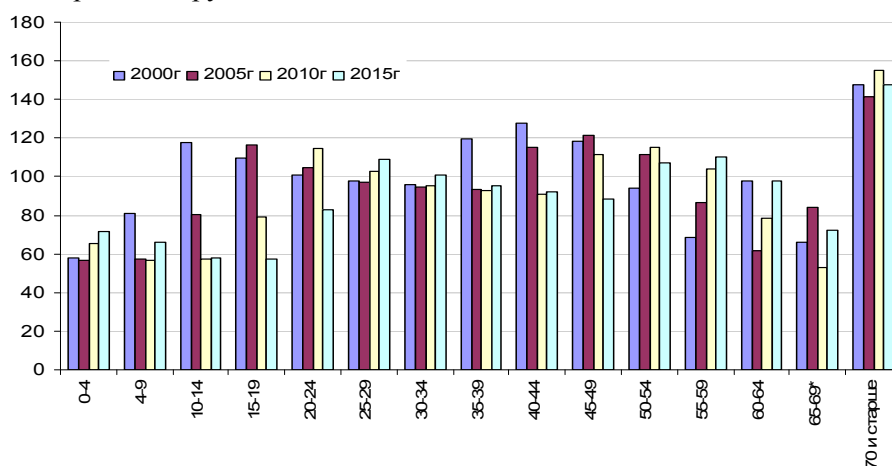


Рис.4. Динамика возрастной структуры населения за 2000, 2005, 2010 и 2015 гг., тыс. чел.

Удельный вес групп моложе трудоспособного и трудоспособного населения в Пензенской области ниже, чем показатели по России и ПФО. В области отмечается процесс старения населения (рис. 5). В соответствии со шкалой демографического старения Ж. Боже-Гранье – Э. Росета, Пензенская область относится к типу регионов с очень высоким уровнем демографической старости.

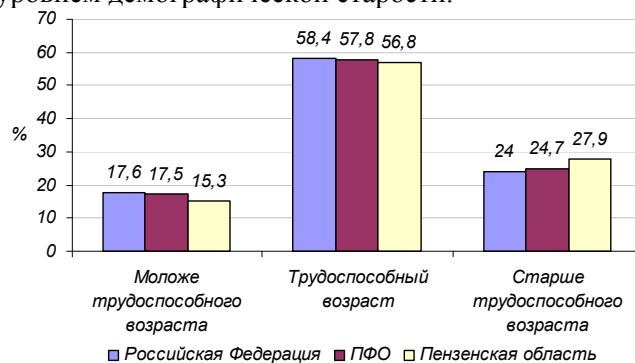


Рис.5. Удельный вес основных возрастных групп в общей численности населения на 01.01.2015 г., %

Средний возраст населения Пензенской области на 1 января 2015 г. составил 41,83 года, тогда как соответствующий показатель по РФ составляет 39,5, а по ПФО – 39,8. Пензенскую область можно отнести к регионам с высокой долей пожилых людей (более 20 %) и высоким значением медианного возраста (более 40 лет).

В связи со снижением рождаемости и увеличением смертности в трудоспособном возрасте снизилась доля лиц младших возрастов и увеличилась доля лиц старше трудоспособного возраста, что привело к заметному демографическому старению населения. Наблюдается развитие возрастной структуры от стационарной к регрессивной. В структуре сельского населения значительно ниже доля людей трудоспособного возраста, чем в структуре городского населения (рис. 6).

Таким образом, с каждым годом в сельской местности снижается доля трудоспособного населения и возрастает доля населения старше трудоспособного возраста. Естественное старение населения сопровождается оттоком населения трудоспособного и младше трудоспособного возраста из сельской местности.

Удельный вес женщин в численности населения Пензенской области на протяжении последних 25 лет колеблется от 53,7 % до 54,6 %. Диспропорция полов усиливается ввиду высокой смертности среди мужчин. В 2014 г. умерло 77,9 человек на 100000 человек соответствующего пола, а у женщин этот показатель составил лишь 14,5 человек. Высокая смертность среди мужчин частично компенсируется увеличением продолжительности жизни. Так, в 2014 г. ожидаемая продолжительность жизни мужчин составила 65,7 лет (2000 г. – 59,5 лет), а у женщин – 77,5 лет (2000 г. – 73,5 лет).

а

б

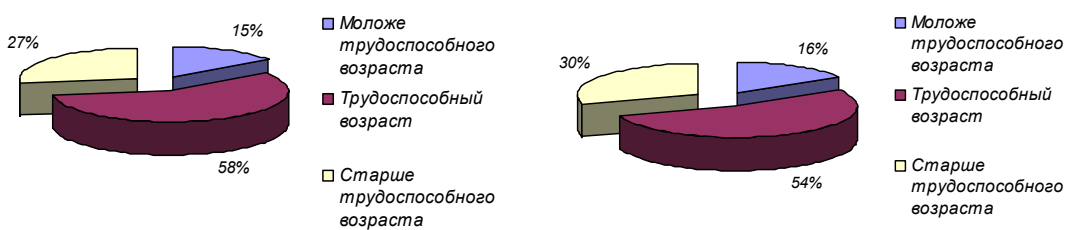


Рис. 6. Распределение населения Пензенской области по основным возрастным группам: а – городского; б – сельского

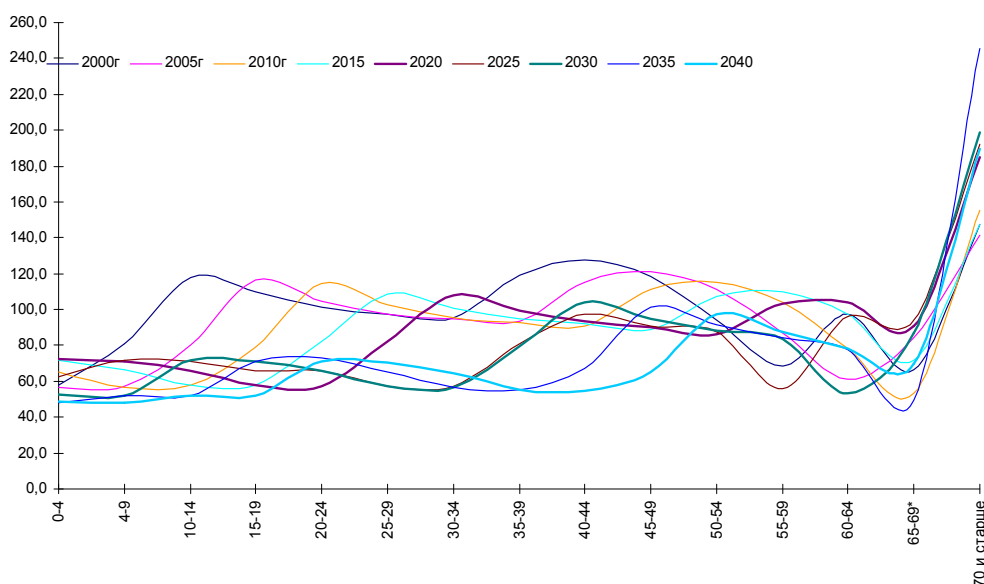


Рис. 7. Прогноз возрастной структуры населения методом передвижки возрастов с пятилетним шагом, тыс. чел.



Индекс ожидаемой продолжительности жизни – один из важных показателей, используемых в составе индекса человеческого развития (индекса развития человеческого потенциала). Данный индикатор приведен в материалах СЕМАТ для определения устойчивости пространственного развития, рассчитывается для всех стран – членов ООН. На основе этой методики индекс ожидаемой продолжительности жизни для Пензенской области составит 0,78 (при максимальном значении 1,0), что сопоставимо с общероссийским показателем.

В Пензенской области продолжается естественное и механическое сокращение численности населения. Помимо этого, имеются предпосылки ухудшения половозрастной структуры населения, что приведет к значительному сокращению числа занятых в экономике. При существующих тенденциях к 2020-2030 г. можно прогнозировать масштабный демографический кризис.

При сохранении современных демографических параметров: сложившихся тенденций по рождаемости (возрастных коэффициентов рождаемости, суммарного коэффициента рождаемости), смертности (возрастных коэффициентов смертности), а также механического движения населения численность населения области к 2040 году сократится до 1096,0 тыс. человек. На рис.7 видны сложившиеся тенденции к снижению рождаемости ввиду уменьшения количества женщин детородного возраста, увеличению смертности из-за значительного увеличению людей старшей возрастной группы. В данном прогнозе не был учтен миграционный отток населения трудоспособного и детородного возрастов, что в значительной мере может усугубить ситуацию. При таком развитии событий ситуация может приобрести катастрофический характер.

Рост показателя ожидаемой продолжительности жизни определяется снижением младенческой смертности и смертности населения более молодых возрастов. Однако вследствие старения населения общее число умерших в прогнозный период будет расти в связи с увеличением доли старших возрастных групп населения. По Пензенской области рост рождаемости прогнозируется ниже роста смертности, поэтому естественная убыль будет повышаться. Естественная убыль населения усилится миграционным оттоком населения.

В Пензенской области прогнозируемая возрастная структура станет еще более неблагоприятной, т.к. доля лиц старше трудоспособного возраста должна вырасти почти до 34,8 %, а доля лиц трудоспособного возраста – снизиться до 51,8 %. Все это приведет к увеличению коэффициента демографической нагрузки. Рост демографической нагрузки приведет к тому, что работающим лицам придется увеличить часть своих доходов, отчисляемых на неработающее население, что может отрицательно отразиться на создании общественных фондов для детей, инвалидов и престарелого населения, и особенно большие трудности намечаются в формировании необходимого пенсионного фонда.

Выводы:

1. Для Пензенской области характерно сокращение численности населения, сопровождающееся старением населения. На 1.01.2015 г. численность населения Пензенской области по сравнению с 2002 г. сократилась на 3,7 % и составила 1355,6 тыс. человек.

2. Несмотря на улучшение ситуации с точки зрения естественного прироста населения до –4,1 человек на 1000 населения, этого недостаточно, что бы коренным образом переломить сложившуюся ситуацию. Пензенская область с 1992 г. вступила в депопуляционный тип развития. Суммарный коэффициент рождаемости для Пензенской области продолжает оставаться одним из самых низких по России и составляет 1,529. Существенный резерв повышения текущих показателей рождаемости лежит в возможном прекращении сдвигов рождений детей к более позднему возрасту матери и изменении брачного поведения. Необходимо обратить особое внимание на снижение смертности людей трудоспособного возраста в целом по области и в первую очередь в сельской местности.

3. Пензенская область в настоящее время не очень привлекательна для мигрантов в социально-экономическом отношении, в то же время ее географическое положение и роль в социально-экономическом развитии РФ и ПФО делают ее «донором» для всех федеральных округов, в том числе ПФО. В связи с этим миграционное сальдо остается отрицательным и сохраняет относительную стабильность лишь за счет мигрантов из стран СНГ.

4. Уменьшение численности сельского населения за счет миграции из сел в города, а в последние годы и за счет естественной убыли, не является чем-то специфическим для Пензенской области. Но здесь этот процесс выражен в большей мере, чем в других регионах страны, по причине отрицательного сальдо миграции (число прибывших меньше числа выбывших). Причем за пределы области мигрирует население, прежде всего, в молодом возрасте, с чем связано и сокращение рождаемости. В условиях увеличившейся миграции сельских жителей (преимущественно молодежи) в города существенным образом была деформирована половозрастная структура, ускорился процесс старения населения, что, в конечном счете, способствует росту смертности и сокращению рождаемости. Решающее влияние на величину естественной убыли населения оказывает повышенная смертность на селе.

5. При сохранении сложившихся тенденций естественного и механического движения населения численность населения Пензенской области к 2040 году сократится на 21 %. При этом значительно возрастет доля населения старше трудоспособного возраста, еще более сократится доля населения младших возрастов и трудоспособного населения. Это усугубит депрессивное состояние и поставит под угрозу реализацию стратегического плана развития Пензенской области. В связи с ухудшением возрастной структуры должен увеличиться коэффициент демографической нагрузки. Это может отрицательно сказаться на формировании общественных фондов, особенно пенсионного.

Таким образом, Пензенскую область можно отнести к регионам с низким демографическим потенциалом. Необходимы целенаправленная политика и чрезвычайные меры по улучшению демографической ситуации на территории Пензенской области и в первую очередь по улучшению качества жизни.

### Список литературы

1. Социально-экономическое положение федеральных округов // Федеральная служба государственной статистики: ежеквартальный бюллетень. – 2016. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1140086420641](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140086420641) (дата обращения 14.12.2016)
2. Показатели социально-экономического развития Пензенской области в январе-мае 2016 г.: статистический бюллетень // Пензастат, Пенз. гос. ун-т. – Пенза, 2016. – 199 с.
3. Пензенская область: основные показатели развития с 1991 по 2010 г.: стат. сборник // Федеральная служба гос. статистики, Пензастат. – Пенза, 2011. – 568 с.
4. Пензенская область: стат. ежегодник // Федеральная служба гос. статистики, Пензастат. – Пенза: Пензастат, 2015. – 493 с.
5. Демографический ежегодник России // Федеральная служба государственной статистики: ежегодник. – 2015. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1137674209312](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1137674209312) (дата обращения 14.12.2016)
6. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации // Федеральная служба государственной статистики: сборник. – 2015. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138625359016](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138625359016) (дата обращения 14.12.2016)

1. Socio-economic situation of federal districts //Federal state statistics service: quarterly newsletter. – 2016. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1140086420641](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1140086420641) (accessed 14.12.2016)
2. Indicators of socio-economic development of the Penza region in January-May 2016: Statistical Bulletin // Pentastat, Penz. state University. – Penza, 2016. – 199 p
3. Penza oblast: Key indicators of development from 1991 to 2010 [Text]: stat. the collector / Federal service of state statistics, Pentastat. – Penza, 2011. – 568 p.
4. Penza купшщт: stat. yearbook // Federal service of state statistics, Pentastat. – Penza: Pentastat, 2015. – 493 p.
5. Demographic Yearbook of Russia // Federal service of state statistics: Yearbook. – 2015. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/atalog/doc\\_1137674209312](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/atalog/doc_1137674209312) (accessed 14.12.2016)
6. The Regions Of Russia. Main characteristics of subjects of the Russian Federation //Federal state statistics service: the collection. – 2015. – URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc\\_1138625359016](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138625359016) (accessed 14.12.2016)

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Димитренко Нина Васильевна**,  
доцент кафедры «Градостроительство»  
E-mail: ninadim@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Dimitrenko Nina Vasilevna**,  
Associate Professor of the department «Urban  
planning»  
E-mail: ninadim@yandex.ru

## РЕОРГАНИЗАЦИЯ ДАЧНЫХ МАССИВОВ ПОД ЖИЛУЮ И ОБЩЕСТВЕННУЮ ЗАСТРОЙКУ (НА ПРИМЕРЕ Г. ПЕНЗЫ)

Н.В. Димитренко

Рассмотрены вопросы интенсификации городского пространства с учетом реорганизации территорий, занятых садово-дачными массивами, под различные городские функции.

Проведен анализ потенциальных к преобразованию территорий с выявлением положительных и отрицательных факторов, влияющих на градостроительную ценность и перспективное использование территорий, предложен механизм координации градостроительного развития в части преобразования садово-дачных территорий в структуре города.

*Ключевые слова: планировочная структура города, территориальные ресурсы, градостроительный потенциал, комплексная оценка территории, садоводческие товарищества, садовые участки, реорганизация территорий*

## REORGANIZATION OF SUMMER COTTAGE AREAS INTO HOUSING AND PUBLIC BUILDINGS ZONES (ON THE EXAMPLE OF PENZA)

N.V. Dimitrenko

Urban space intensification is considered taking into account the reorganization of territories occupied by summer-cottage areas for various city functions.

The analysis of territories that are potential for transformation, revealing positive and negative factors influencing urban-planning value and perspective of the territories use, is carried out. The coordination mechanism of town-planning development in terms of summer-cottage territories transformation into city structure is offered.

*Keywords: city planning structure, territorial resources, urban-planning potential, comprehensive assessment of the territory, horticultural partnership, garden plot, territories reorganization*

Современное развитие городов затрагивает не только социально-экономические и экологические аспекты, определяющие степень устойчивости развития городской среды. Экстенсивный тип роста городских поселений приводит к удельному сокращению природных и территориальных ресурсов, что противоречит основным принципам концепции устойчивого развития, одним из которых является минимизация потребляемых ресурсов.

В связи с этим актуализируются вопросы интенсификации использования территорий в пределах городского пространства. Одним из вариантов решения вопроса поиска территориальных ресурсов может служить перепрофилирование земель, занятых садово-дачными массивами, под различные городские функции.

В настоящее время в Российской Федерации насчитывается свыше 27 млн садово-дачных участков, которые располагаются не только в пригородных зонах городов, но и внутри городских поселений, занимая обширные территории с общим количеством участков до 15 и более тысяч. Однако развитие коллективных садоводств в структуре

селитебной территории городских поселений вызвало ряд проблем. Постепенный захват ценных в градостроительном отношении территорий, отсутствие развитой инженерной и транспортной инфраструктуры, низкий уровень благоустройства и качества застройки снижают градостроительную ценность и эстетическую привлекательность данных территорий, которые не отвечают современным социальным, экологическим и градостроительным требованиям. В то же время они имеют значительный градостроительный потенциал с точки зрения перспектив развития в части перепрофилирования первоначальных функций для последующего целевого использования.

Практика преобразования дачных массивов под жилую функцию в структуре г. Пензы рассматривалась недостаточно и сводилась, в основном, к единичным переводам отдельных земельных участков садоводческих товариществ в жилой фонд. Рассмотрение данного вопроса требует дальнейшего изучения с учетом определения перспективных территорий, подлежащих реорганизации под общественные и жилые функции.

Исходя из этого, исследование заключалось в выявлении преимущественного функционального предназначения исследуемых территорий методом сравнительного анализа и комплексной оценки территории, которая проводилась по двум группам факторов – природным и планировочным:

- природные и инженерно-строительные условия развития территории;
- оценка экологических условий и установленных планировочных ограничений;
- взаимосвязи функциональной структуры рассматриваемых территорий и прилегающих к ним городских территорий;
- сложившийся транспортный каркас;
- наличие развитой инфраструктуры;
- взаимовлияние функциональных процессов и существующих природных условий.

При этом в исследовании рассматривались и проектные предложения генерального плана г. Пензы, разработанного в 2008 г. РосНИИПИУрбанистики (г. Санкт-Петербург), которые были направлены на преобразование ряда коллективных садоводств в зону индивидуальной жилой застройки и под другие функции.

Основные массивы садоводств сформированы на северо-западе и правобережной части города, совокупная площадь их территорий составляет свыше 2659 га с суммарным числом садовых участков 53040 (см. таблицу, рис. 1).

Характеристики территорий садово-дачных массивов,  
расположенных в структуре г. Пензы

| Дачный массив                                   | Площадь массива, кв. м | Число участков в массиве, ед. | Проектное предложение развития территорий по генплану города 2008 г. | Комплексная оценка территории   |  |
|---|------------------------|-------------------------------|--|---|--|
|   |                        |                               |  | Природные и экологические факторы   | Планировочные факторы  |
| 1   | 2                      | 3                             | 4  | 5   | 6  |
| 1 Барковка                                      | 6358378                | 12716                         | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу)                      | Водные, лесные ресурсы, пойма р. Ст. Сура, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость 1% территории паводком                                       | Большая территория, удаленность от центра города, большая площадь                              |
| 2 Пос. Ахуны (Березка, Черемушки, Лесное, Союз) | 396030                 | 792                           | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу)                      | Водные, лесные ресурсы, пойма р. Ст.Сура, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории, высокая санитарно-гигиеническая оценка территории | Хорошая транспортная доступность, приближенность к санаторно-курортной зоне города – пос.Ахуны |

| 1 | 2  | 3       | 4    | 5   | 6   |   |
|---|--|---------|------|---|---|---|
| 3 | Пос. Сосновка (Дубки)                      | 47087   | 94   | Садоводства   | Водные, лесные ресурсы, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории  | Хорошая транспортная доступность, малая площадь, приближенность к пос.Сосновка  |
| 4 | Пос. Ахуны (Дубрава)                       | 367674  | 608  | Садоводства   | Водные, лесные ресурсы, пойма р. Ст.Сура, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории, высокая санитарно-гигиеническая оценка территории                   | Хорошая транспортная доступность, большая площадь, приближенность к санаторно-курортной зоне города – пос.Ахуны                         |
| 5 | Пос. с/х Заря (Заря)                       | 52756   | 105  | Садоводства   | Водные ресурсы, водоохр. зона р.Безымянный (50 м)   | Отдаленность от центра города, в окружении жилого массива пос.Заря, неразвитость инфраструктуры, удаленность от общественных подцентров |
| 6 | Чемодановка                                | 4031980 | 8000 | Садоводства   | Лесные ресурсы, южная часть территории расположена в СЗЗ кладбища и городского полигона ТБО   | Восточная граница города, значительная удаленность от центра города и общ. подцентров, граничит с ФАД М-5 «Урал», большая площадь       |
| 7 | Пос. Камыши-Хвощи (Победа, Камыши, Медик)  | 2673512 | 5347 | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу)   | Водные, лесные ресурсы, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории  | Значительная удаленность от центра города и общ. подцентров, большая площадь  |
| 8 | Пос. Нефтяник (Нефтяник)                   | 98040   | 196  | Земли с/х использования, частичное озеленение водоохранной зоны, ветрозащитное озеленение | Водные ресурсы, водоохранная зона прудов р.Пензятка (100 м), рельеф, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории, заболоченность северной части территории | Отдаленность от центра города, в окружении жилого массива пос.Заря, неразвитость инфраструктуры, удаленность от общественных подцентров |
| 9 | Пос. Нефтяник (Гудок, 50 лет Победы, Заря) | 1570120 | 3140 | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу), частичное сохранение садоводства         | Бывшие земли с/х использования, водные ресурсы, водоохранная зона прудов (50 м), частичная подтопляемость территории, частично в СЗЗ от ЛПДС «Пенза»                            | Отдаленность от центра города, в окружении жилого массива пос.Заря, неразвитость инфраструктуры, удаленность от общественных подцентров |

| 1  | 2   | 3       | 4     | 5  | 6  |   |
|----|---|---------|-------|--|--|---|
| 10 | Каланча                                     | 7614887 | 15200 | Общественно-деловые объекты, рекреация, северная часть – перевод в инд. жилую застройку (на перспективу), южная часть – садоводство, вынос участка трассы ФАД М-5 «Урал» и включение его в систему УДС города как магистраль общегор. значения | Водные ресурсы, наличие ВЛ 110 кВ, водоохранная зона прудов руч. Безымянный (100м), рельеф   | Хорошая транспортная доступность, граничит с ФАД М-5 «Урал» – транзитом между жил. районами Арбеково и Сев. Поляной, большая площадь                        |
| 11 | Пос. Побочино                               | 1040143 | 2080  | Коммунально-складская зона, общественно-деловые объекты, вынос участка трассы ФАД М-5 «Урал», садоводство  | Частично расположен в СЗЗ жел. дороги  | Расположение между федеральной трассой, железнодорожной магистралью, отдаленность от центра города, приближенность к крупнейшему району Арбеково и пос.Заря |
| 12 | Сев. часть Веселовки (Засека, Казенный сад) | 1300553 | 2600  | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу)  | Водные ресурсы, лесопарк, граничит с парком им. Белинского, уровень залегания грунтовых вод – свыше 5м, водоохранная зона р.Мойки (50м), высокая санитарно-гигиеническая оценка территории | Хорошая транспортная доступность, в структуре инд. жилой застройки, спортивно-рекреационная зона, зона отдыха   |
| 13 | Веселовка (Здоровье-1)                      | 354379  | 708   | Перевод в инд. жилую застройку (на перспективу)  | Водные ресурсы, водоохранная зона р.Мойки (50 м)   | В окружении инд. жилой застройки жилого района Веселовка, хорошая транспортная доступность, неразвитость системы объектов обслуживания                      |
| 14 | Р-н Аэропорта (Авиатор-1, Авиатор-2)        | 115836  | 230   | Расширение зоны аэропорта  | Шумовая зона аэропорта, зона воздушного подлета, СЗЗ от действ. кладбища «Терновское»  | Значительная удаленность от центра города, въезд в г.Пензу с а/д Пенза-Шемьшейка, хорошая транспортная доступность, примыкает к территории аэропорта        |
| 15 | Р-н Аэропорта (Авиатор-3)                   | 112100  | 224   | Садоводства  | Шумовая зона аэропорта, зона воздушного подлета, сев. часть расположена в СЗЗ коммунально-складских и произв. объектов   | Значительная удаленность от центра города, примыкает к территории аэропорта и производственно-складской зоне города   |

| 1     | 2                                      | 3        | 4     | 5  | 6   |  |
|-------|--|----------|-------|--|---|--|
| 16    | Пос. Согласие (Заря)                   | 240989   | 480   | Перевод в инд жилую застройку (на перспективу), частичное сохранение садоводства | Водные ресурсы, городские леса  | Примыкает к пос. Согласие (инд. жил. застройка), в структуре жилого района Шуист, хорошая транспортная доступность |
| 17    | Зап.Поляна (Добрый путь, Светлый путь) | 51560    | 103   | Садоводства, малоэтажная жилая застройка, озеленение СЗЗ от кладбища             | Частичное расположение в СЗЗ от недейств. кладбища и ПС 110/10 «Западная», рельеф   | Центральная часть города в окружении многоэт. жилой застройки Зап. Поляна и инд. жилой застройки, малая площадь    |
| 18    | Ахуны (Пригородное)                    | 168608   | 327   | Садоводства  | Водные, лесные ресурсы, пойма р. Ст.Сура, высокий уровень стояния грунтовых вод, подтопляемость территории, высокая санитарно-гигиеническая оценка территории | Хорошая транспортная доступность, большая площадь, приближенность к санаторно-курортной зоне города – пос.Ахуны    |
| Итого |  | 26594632 | 53040 |  |   |  |

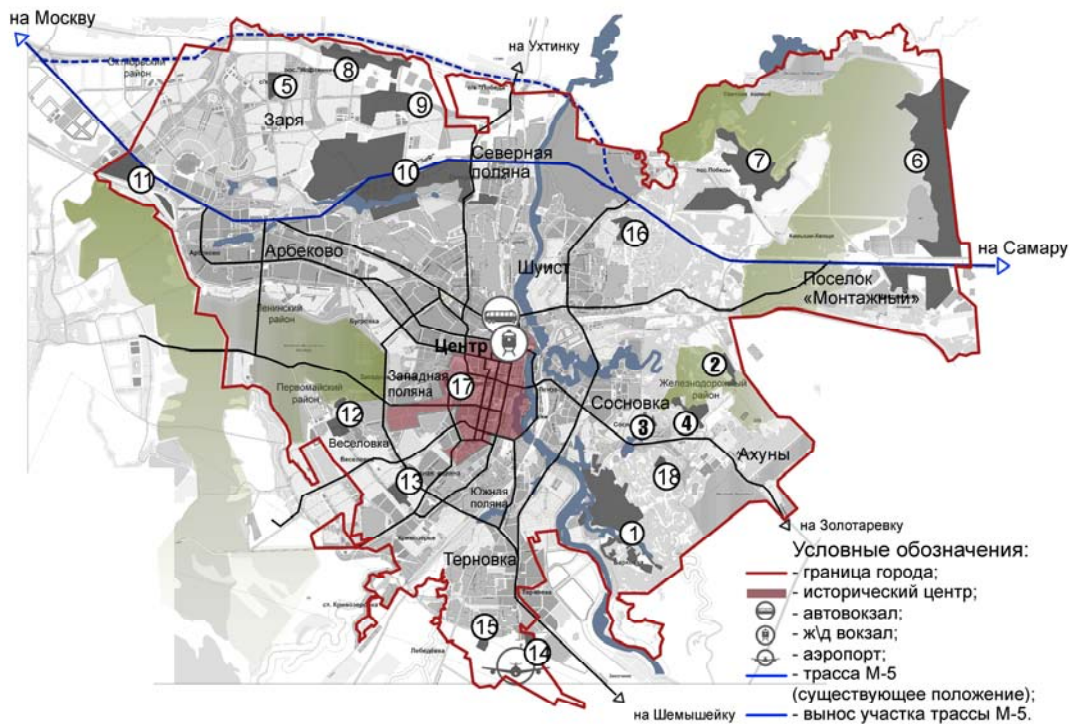


Рис. 1. Схема размещения садоводческих товариществ в структуре г. Пензы

Как видно из таблицы, по генеральному плану значительную часть дачных массивов, расположенных в районах Барковки, Каланчи, Веселовки, Западной Поляны, пос. Ахуны, Камыши-Хвощи, Нефтянник, Согласие (рис. 4), планируется в перспективе частично или полностью перевести в категорию индивидуальной жилой застройки.

В то же время часть садоводств полностью сохранится – в районах Сосновки, Чемодановки, Аэропорта (с/т Авиатор-3) (рис. 2).





Рис. 2. Садово-дачный массив в районе п.Чемодановка



Рис. 3. Садово-дачный массив в районе «Барковка», расположенный в пойменной части р. Ст. Сура

Проектными мероприятиями генплана города предусматривается реорганизация садово-дачных территорий под промышленные функции – в районе пос. Побочино, учитывая его приближенность к трассе ФАД М-5 «Урал», и в зоне развития аэропорта – с/т Авиатор-1, Авиатор-2, которые непосредственно примыкают к его территории (рис. 4, 5).

Одним из приоритетных направлений развития территорий города по генплану является формирование непрерывной системы озеленения, в том числе прибрежных зон городских рек и водоемов за счет их максимальной расчистки и озеленения, что согласуется с основными экологическими и водоохранными требованиями. Часть территорий садоводств, попадающих в эти зоны, предусматривается преобразовать в систему озеленения общего пользования в районах Каланчи, Зари, Нефтянника, Веселовки.

Учитывая приближенность к федеральной трассе ФАД М-5 Урал, территорию садоводств в районе Каланчи активно планируется развить в направлении общественно-деловых функций и организации природно-рекреационных территорий, включая прибрежное пространство прудов ручья Безымянный (рис. 4).



Рис. 4. Садово-дачные массивы и пруды ручья Безымянный в районе Каланчи.  
Вид с федеральной трассы М-5 «Урал»

В результате комплексной оценки территорий по природным факторам было определено, что часть садоводств (в районах Барковка, Сосновка, Ахуны, Камыши-Хвощи, Нефтянник) расположены на территориях, потенциально подтопляемых, с высоким уровнем стояния грунтовых вод (от 0 до 2 м), что предполагает при дальнейшей реорганизации серьезную инженерную подготовку территории и ряд необходимых при данном факторе инженерно-технических мероприятий (рис. 3, 5).



Рис. 5. Садово-дачный массив в районе п.Ахуны



Рис. 6. Садово-дачный массив в районе Западной Поляны. Вид с ул. Пацаева

Кроме того, ряд садоводческих массивов в районах Побочино, Чемодановка, Нефтяник, Аэропорт, Западная Поляна попадают в санитарно-защитные зоны предприятий и охранные зоны инженерно-технических объектов, что противоречит действующим нормативам, которые запрещают размещение территорий садоводческих дачных объединений в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий и других охранных зонах с особыми условиями использования территории и требуют соблюдения санитарно-гигиенических нормативов по всем факторам воздействия с учетом выполнения архитектурно-планировочных мероприятий (рис. 2, 6).

Оценка территорий по планировочным факторам позволила выявить (определить), что ряд садоводств находятся в структуре сложившейся жилой застройки, как правило, индивидуальной (Западная Поляна, Веселовка, Согласие), тем самым «разрывая» селитебные территории и нарушая целостность городской ткани, формируя фрагментированность планировочной схемы города.

Преодоление этих «разрывов» за счет реорганизации данных территорий и включения их в жилую застройку с созданием необходимой инженерной и транспортной инфраструктур, а также организации развитой системы обслуживания позволят достичь компактности и целостности планировочной структуры города, усилить взаимосвязи функциональных зон, повысить интенсивность использования городских территорий.

Процесс реорганизации территорий, занятых дачными массивами, под различные городские функции требует выполнения ряда мероприятий и должен проходить несколько этапов:

**1. Аналитический.** Выявление и оценка потенциально реорганизуемой территории с точки зрения градостроительного потенциала, земельно-имущественных отношений, комплексной оценки реорганизуемой территории.

**2. Стратегический.** Разработка методик градостроительного развития, градостроительного обоснования, программы, концепции с учетом направлений документов территориального планирования, стратегических направлений социально-экономического развития.

**3. Этап проектирования.** Разработка градостроительной документации (проекта планировки территории, проекта межевания, подготовки градостроительного плана с учетом смены статуса земельного участка).

**4. Этап реализации.** Утверждение и обеспечение выполнения разработанных проектных решений, система оперативного управления и мониторинга, внесение соответствующих изменений и корректировок, определение этапов реализации проектных решений, привлечение инвестиций.

**5. Постпроектный анализ.** Мониторинг реализации градостроительных решений, формирование отчетных документов о реализации градостроительных решений.

По результатам проведенных исследований было определено, что градостроительное развитие территорий садоводческих товариществ может происходить в виде перепрофилирования в ряд функциональных зон – общественно-деловую, жилую, коммунально-складскую, рекреационную – с учетом природно-экологических и планировочных факторов. При этом наиболее благоприятными с точки зрения градостроительной ценности территории для перспективного преобразования в жилую зону являются дачные массивы «Здоровье-1» (Веселовка), «Заря» (Согласие), северная часть «Каланчи», «Добрый путь», «Светлый путь» (Западная Поляна), «Засека» и «Казенный сад» (север Веселовки). Реорганизация других массивов, расположенных в районах Камыши-Хвощи, Ахуны, Сосновка, Барковка, под жилые функции с развитой системой инженерной и транспортной инфраструктур потребует организации комплекса мероприятий по инженерной подготовке территории для обеспечения оптимальных санитарно-гигиенических и микроклиматических условий проживания. Включение территорий дачных массивов в районах пос. Нефтяник и Заря в жилую функцию в ближайшие перспективы маловероятно, так как жилая застройка, окружающая дачные массивы, находится пока в стадии освоения территории, а следовательно, не имеет развитой транспортной и инженерной инфраструктуры и системы

объектов обслуживания. Перевод данных территорий в жилой фонд возможен лишь после завершения освоения указанных земель под малоэтажную жилую застройку с развитой инфраструктурой.

Перспективы реорганизации садово-дачных территорий под общественные функции возможны в районе Каланчи и п.Побочино, учитывая приближенность к федеральной трассе М-5 «Урал» и запланированный генпланом города вынос участка трассы к северу от городской территории за пределы городской черты. При этом существующую трассу обхода автодороги «Урал» планируется включить в систему УДС города как магистраль общегородского значения с непрерывным движением транспорта (рис. 1, 4). Реализация данного проектного решения генплана позволит повысить градостроительный потенциал и инвестиционную привлекательность территорий, в том числе садово-дачных, прилегающих к выносимому на перспективу участку трассы, для дальнейшего перевода земель под общественно-деловые, рекреационные функции, а также производственно-складские в районе п.Побочино.

Дачные массивы в районе Каланчи являются зонами активных градостроительных преобразований, которые обусловлены близостью к ФАД М-5 «Урал» и перспективным выносом участка федеральной трассы к северу за городскую черту.

Территории садоводств, расположенных в районе Аэропорта, целесообразно перевести в зону аэропорта.

Вопросы реорганизации территорий садоводств должны решаться соответствии с разработанной градостроительной документацией и в установленном законодательством порядке.

#### **Выводы**

1. До настоящего времени практика реорганизации садово-дачных территорий, расположенных в черте города, под различные городские функции в Российской Федерации не нашла широкого применения. Необходимость освоения данных территорий под новые функции для муниципальных нужд города находит отражение пока только в документах территориального планирования как одно из направлений стратегии развития городских территорий (генеральные планы гг. Самары, Новосибирска, Ярославля и др.).

2. Значительная часть территорий садоводческих массивов в структуре города Пензы имеет высокий потенциал к градостроительному преобразованию с учетом перспективного использования территорий под жилые, общественно-деловые, обслуживающие и рекреационные функции, являясь внутренним территориальным ресурсом для градостроительного развития Пензы.

3. Комплексная градостроительная оценка территории позволяет достичь эффективности принятия градостроительных решений в интенсификации использования городских территорий – основного пространственного ресурса для размещения всех видов городского строительства.

4. Реорганизация садово-дачных территорий должна осуществляться с проведением необходимой градостроительной стратегии для последующего целевого использования реорганизуемых территорий в соответствии с документами территориального планирования и нормативно-правовой законодательной базой, регулирующей отношения в области градостроительства и землепользования.

Перспективная реорганизация садово-дачных массивов позволит максимально интенсифицировать использование городских территорий, повысить их градостроительную ценность, экономический потенциал и инвестиционную привлекательность для достижения благоприятной и устойчивой среды обитания.

#### **Список литературы**

1. Генеральный план г. Пензы. – URL: [http://www.penza-gorod.ru/line\\_of\\_activity/town-planning/urban-planning/general-plan/2016/](http://www.penza-gorod.ru/line_of_activity/town-planning/urban-planning/general-plan/2016/) (дата обращения 12.03.2017).

2. Городское планирование для руководителей городов. Программа ООН по населенным пунктам: справочник // ООН Хабитат. – 2016 – URL: <http://unhabitat.ru/ru/index> (дата обращения 13.03.2017).
3. Градостроительная доктрина Российской Федерации / Г.В. Есаулов [и др.]; Российская академия архитектуры и строительных наук. – М.: Эконинформ, 2014. – 30 с.
4. Ахмедова, Е.А. Стратегические направления градостроительного развития Поволжских городов в генеральных планах нового поколения / Е.А. Ахмедова // Вестник ОГУ. – 2007. – №6 – С. 160–168. – URL: <http://cyberleninka.ru/journal/n/vestnik-orenburgskogo-gosudarstvennogo-universiteta>.
5. Генеральный план г. Самары. – URL: <http://www.gordumasamara.ru/plan/info/> (дата обращения 14.03.2017).
6. Генеральный план г. Новосибирска. – URL: <http://novo-sibirsk.ru/dep/construction/plan/> (дата обращения 14.03.2017).
7. Демидова, Е.В. Мультиполезная модель маркетинговой градостроительной стратегии / Е.В. Демидова, В.А. Колясников // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2012. – №2. – С. 9–12. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/multipoleznaya-model-marketingovoy-gradostroitelnoy-strategii> (дата обращения 15.03.2017).
8. Авилова, И.П. Оценка градостроительного потенциала как основа комплексного территориального планирования / И.П. Авилова, С.В. Аридова, Н.В. Фролов // ЭПИ «Эпоха науки». – 2015. – №4 – URL: [http://eraofscience.com/index/4\\_dekabr\\_2015\\_g/0-41](http://eraofscience.com/index/4_dekabr_2015_g/0-41) (дата обращения 12.03.2017).

#### References

1. General layout of Penza. – URL: [http://www.penza-gorod.ru/line\\_of\\_activity/town-planning/urban-planning/general-plan/2016/](http://www.penza-gorod.ru/line_of_activity/town-planning/urban-planning/general-plan/2016/) (application date 12.03.2017).
2. Urban planning for city authorities. United Nations Human Settlements Program: handbook // UN Habitat. – 2016. – URL: <http://unhabitat.ru/ru/index> (application date 13.03.2017).
3. Town planning doctrine of the Russian Federation / G.V. Esaulov [etc.]; Russian Academy of Architecture and Building Sciences. – М.: Ekoninform, 2014. – 30 p.
4. Akhmedova, E.A. Strategic directions of urban planning development of the Volga cities in new generation general layouts / E.A. Akhmedova // Bulletin of the OSU. – 2007. – №6 – P. 160–168. – URL: <http://cyberleninka.ru/journal/n/vestnik-orenburgskogo-gosudarstvennogo-universiteta>.
5. General layout of Samara. – URL: <http://www.gordumasamara.ru/plan/info/> (application date 14.03.2017).
6. General layout of Novosibirsk. – URL: <http://novo-sibirsk.ru/dep/construction/plan/> (application date 14.03.2017).
7. Demidova, E.V. Multiuseful model of marketing urban-planning strategy / E.V. Demidova, V.A. Kolyasnikov // Academic bulletin UralNIIproekt RAASN. – 2012. – №2. – P. 9–12. – URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/multipoleznaya-model-marketingovoy-gradostroitelnoy-strategii> (application date 15.03.2017);
8. Avilova, I.P. Evaluation of urban-planning potential as a basis of integrated territorial planning / I.P. Avilova, S.V. Aridova, N.V. Frolov // EPI «The Age of Science». – 2015. – №4. – URL: [http://eraofscience.com/index/4\\_dekabr\\_2015\\_g/0-41](http://eraofscience.com/index/4_dekabr_2015_g/0-41) (application date 12.03.2017).

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Хаметов Тагир Ишмуратович**,  
доктор экономических наук, профессор,  
зав. кафедрой «Землеустройство  
и геодезия»  
E-mail:hametovt@mail.ru

**Ишамьятова Ирина Хафисовна**,  
аспирант  
E-mail:irinaishamyatova@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Khametov Tagir Ishmuratovich**,  
Doctor of Economics, Professor, Head of the  
department «Land management and geodesy»  
E-mail:hametovt@mail.ru

**Ishamyatova Irina Hafisovna**,  
Postgraduate  
E-mail:irinaishamyatova@yandex.ru

## КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ ТЕРРИТОРИЙ ЗАСТРОЙКИ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Т.И. Хаметов, И.Х. Ишамьятова

Определено понятие «комплексное освоение территории». Проведен анализ развития комплексного освоения территорий застройки Пензенской области на сформированных земельных участках. Рассмотрены особенности участия строительных корпораций на рынке аукционных продаж земельных участков, преимущества комплексной застройки, проблемы девелоперов при реализации проекта комплексной застройки территории на начальном этапе развития. Выполнена градостроительная оценка территорий, пригодных под комплексное освоение.

*Ключевые слова: комплексная застройка, земельные участки, аукцион, жилищные корпорации, проект, инфраструктура*

## COMPLEX DEVELOPMENT OF TERRITORIES OF BUILDING OF PENZA REGION

T. I. Hametov, I. H. Ishamyatova

The development of integrated development and development of territories in the Penza region is considered. The analysis of the formed land plots for integrated residential development, the features of participation of construction corporations in the market of auction sales of land plots are carried out. The advantages of complex development, the problem of developers in the implementation of the project of integrated development of the territory at the initial stage of development are revealed. Conducted urban planning assessment of suitable areas for integrated development is presented.

*Keywords: integrated development, land, auction, housing corporations, project, infrastructure*

В настоящее время актуальной является комплексная организация застройки микрорайона. Проведенный анализ имеющейся литературы позволяет сделать вывод о том, что нет однозначного определения понятия «комплексное освоение территории».

В Градостроительном кодексе не дается определение понятию «комплексное освоение территории». Здесь указывается на то, что комплексное освоение территорий должно включать в себя подготовку документации по планировке территории, образование земельных участков в границах данной территории, строительство на земельных участках в границах данной территории объектов транспортной, коммунальной и социальной инфраструктур, а также иных объектов в соответствии с документацией по планировке территории [1].

По мнению К.Н. Красильниковой, Е.С. Баженовой, Л.М.Блинковой, Н.П. Титовой, комплексное освоение территории – это формирование полноценной жилой среды, обеспеченной всеми видами современного культурно-бытового обслуживания (вклю-

чая транспортное), отвечающего санитарно-гигиеническим, социально-функциональным и архитектурно-эстетическим требованиям [6].

С учетом вышеизложенного нами предлагается следующее определение понятия «комплексное освоение территории»: это формирование застройщиком комфортной среды обитания для покупателя, которое включает в себя проектирование и строительство на земельном участке нескольких домов, объединенных общим архитектурным решением, а также объектов инженерной и социальной инфраструктуры.

Все участники рынка недвижимости России понимают важность и необходимость застройки данного вида. В крупных городах застройщики все чаще сталкиваются с проблемами отсутствия свободных территорий для жилой застройки. Перспектив точечной жилищной застройки внутри таких населенных пунктов в России нет, поэтому необходимость переходить к комплексному освоению новых территорий становится очевидной.

На территории города Пензы ведется как строительство жилых комплексов и микрорайонов, так и точечная застройка. Современные застройщики отдают предпочтение строительству жилых комплексов и микрорайонов с развитой инфраструктурой, где кроме жилых домов возводятся социально-бытовые объекты, инженерные сети, автомобильные дороги и т.д. [10].

Анализ данных по сделкам с земельными участками на муниципальном уровне в период с 2009 по 2016 гг. в Пензенской области [8] показал, что наибольшее количество сделок совершено по аренде государственных и муниципальных земель с учётом всех форм арендной платы, наименьшее – по продаже прав аренды государственных и муниципальных земель. Наблюдается рост сделок по продаже земельных участков органами государственной власти и местного самоуправления, дарению земельных участков, передаче по наследству, сделок залога (рис. 1).

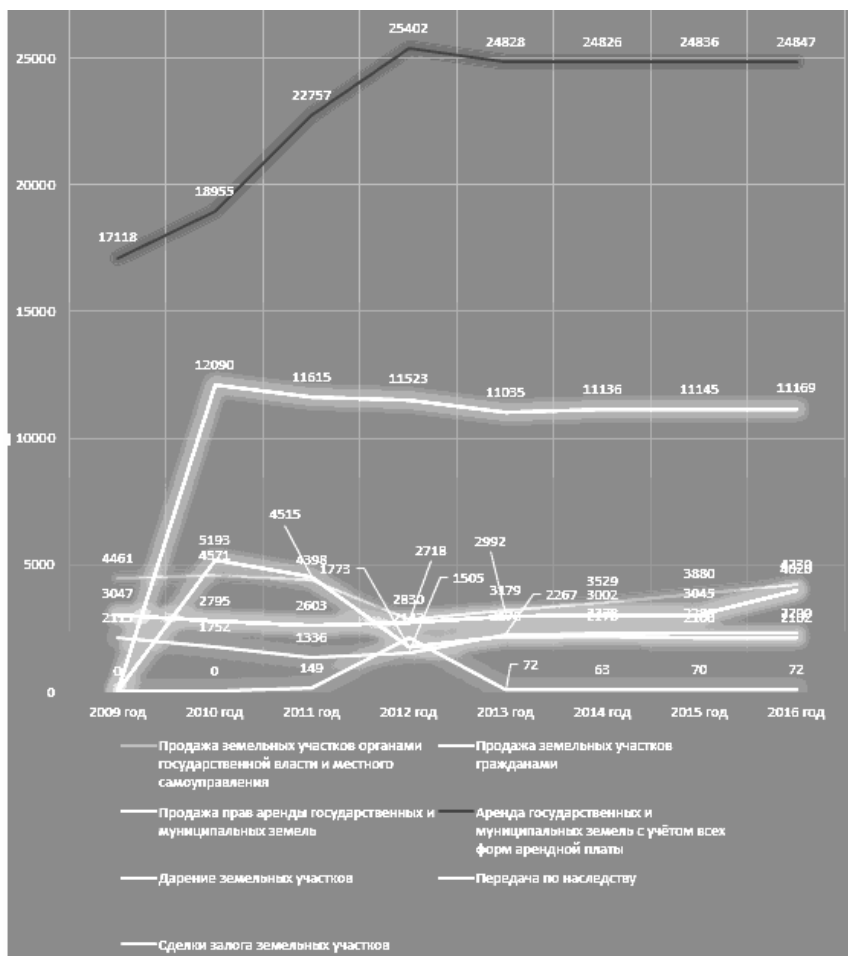


Рис. 1. Динамика изменений количества сделок с земельными участками в г.Пензе

В каждом районе Пензенской области определены земельные участки для размещения жилищного строительства. Всего на начало 2015 года выделено площадок для размещения комплексной застройки жилых домов, отдельных жилых домов и их групп общей площадью 3553,1 га, на которых можно построить 52394 индивидуальных дома (квартиры). Доля земельных участков, намеченных под комплексное освоение составляет 2054,4 га, предоставленных в 2015 году – 492,1 га [8].

Анализ площадей земельных участков, предоставленных по результатам торгов для комплексного освоения в районах Пензенской области за 2016 год (рис. 2), показал, что в Пензенской области (особенно в Пензенском и Бессоновском районах) активно развивается комплексное освоение территорий. Это подтверждается высоким процентом количества земельных участков, предоставленных под комплексное жилищное строительство.

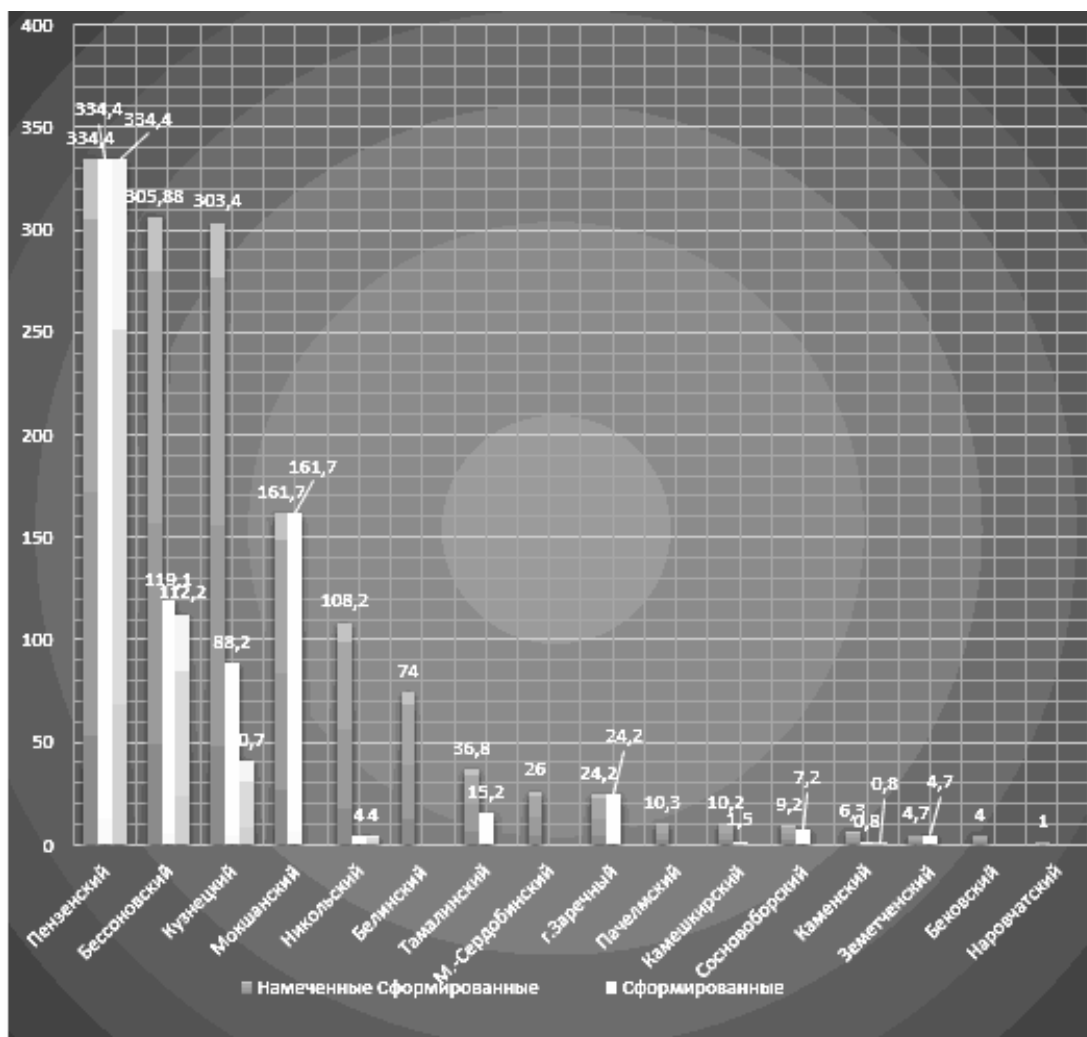


Рис. 2. Анализ активности муниципальных районов Пензенской области по предоставляемой площади земельных участков

К наиболее крупным жилищным корпорациям г.Пензы, занимающимся комплексной застройкой, относятся ОАО «Пензастрой» (ЖК «Райки»), строительные холдинги «СКМ-групп» (ЖК «Арбековская застава»), «Термодом» (город Спутник) [4]. В последние годы увеличивают долю ввода жилья МУП «Пензгорстройзаказчик» и Строительная группа «Рисан» (ЖК «Триумф», «Фаворит»), которые в большей степени занимаются комплексной застройкой территории [10].

Рассмотрим особенности участия данных жилищных корпораций на рынке аукционных продаж в г.Пензе по земельным участкам под жилищное строительство, в том числе под комплексное освоение (см. таблицу).



## Земельные участки под комплексное освоение, выставяемые на аукционах

| Календарная дата проведения аукциона | Местоположение земельного участка   | Разрешенное использование  | Площадь, кв.м |
|--------------------------------------|---|--|---------------|
| 2015 год                             |   |  |               |
| Сентябрь<br>18.09.2015               | г. Пенза, ул. Тамбовская, 23<br>Кадастровый номер:<br>58:29:3003005:1524                    | Для строительства многоквартирных жилых домов выше 5 этажей с встроенными и/или пристроенными объектами социально-бытового обслуживания, административными и торговыми помещениями | 6857          |
| Октябрь<br>09.10.2015                | г. Пенза, ул. Сумская, микрорайон «Северная поляна»<br>Кадастровый номер:58:29:1005011:3010 | Для строительства 14-этажного жилого дома  | 3883          |
| 2016 год                             |   |  |               |
| Июль<br>10.06.2016                   | г. Пенза, Ижевская ул., №31А<br>Кадастровый номер:<br>58:29:3010006:577                     | Среднеэтажная жилая застройка  | 3054<br>3     |
| Июнь<br>10.06.2016                   | г. Пенза, ул. Антонова, №3Е<br>Кадастровый номер:<br>58:29:2009005:13731                    | Многоэтажная жилая застройка   | 1073<br>68    |
| Август<br>09.08.2016                 | г. Пенза, Новоселов ул., 160<br>Кадастровый номер:<br>58:29:1001005:600.                    | Для блокированной жилой застройки  | 3737<br>7     |
| Август<br>09.08.2016                 | г. Пенза, Кривозерье ул., №156<br>Кадастровый номер:<br>58:29:3010006:576.                  | Для среднеэтажной жилой застройки  | 5356          |
| Октябрь<br>14.10.2016                | г. Пенза, ул. Красная<br>Кадастровый номер:<br>58:29:3003001:1431.                          | Многоквартирные жилые дома выше 5 этажей с встроенными и/или пристроенными объектами социально-бытового обслуживания, административными и торговыми помещениями                    | 2097          |

Нами были проанализированы результаты аукционов земельных участков различного разрешенного использования за 2015-2016 годы [10]. Всего с января по октябрь 2016 года на аукционах выставялось по продаже права на заключение договора аренды 167 земельных участков различного разрешенного использования. Большинство аукционов не состоялось. Рынок земельных участков аукционных продаж формируется главным образом за счет индивидуального жилья в виде точечных объектов. Есть небольшая доля коммунально-складской и коммерческой недвижимости, предлагаются также земельные участки для строительства объектов автосервиса. Под многоэтажную жилую застройку отведено очень малое количество земельных участков. Под комплексную жилую застройку в 2016 году было выставлено пять земельных участков.

Проведенный анализ показал, что к комплексному освоению территорий внимательно относятся и властные структуры. Проекты комплексной застройки имеют несомненные преимущества перед проектами точечной застройки. Главным из них является то, что девелопер полностью обустроивает территорию инженерными, социальными и коммерческими объектами, транспортной инфраструктурой. Точечная же застройка увеличивает нагрузку на существующую инфраструктуру. К другим преимуществам данного вида застройки относятся более безопасная организация строительной площадки, широкое придомовое пространство, комфортное проживание людей на территории комплекса и в соседних объектах, сокращение производ-

ственных издержек строительных организаций на единицу продукции, а также обеспечение красивого и гармоничного внешнего вида больших городов. Кроме того, при комплексном освоении территории наиболее полно соблюдаются все строительные нормы и правила планировки и застройки, себестоимость строительной площадки в проектах комплексной застройки ниже на 10 %.

Среди основных проблем, с которыми сталкивается застройщик при комплексной застройке территории, можно выделить следующие [9]:

- длительный срок строительства всего комплекса. Масштабное строительство предполагает реализацию нескольких этапов (очередей), и жильцам первых очередей приходится еще несколько лет мириться с возникающими при этом неудобствами;

- отсутствие земельных участков, обустроенных коммунальной инфраструктурой (объекты инженерной и транспортной инфраструктуры);

- длительные сроки получения разрешения на застройку (большинство девелоперов, даже те, которые имеют достаточный опыт реализации проектов, получают разрешительную документацию в течение трех лет);

- необходимость в серьёзных финансовых инвестициях и риски, связанные с потерей денежных средств;

- высокие проценты ипотеки (на сегодняшний день средняя ставка по ипотеке в России балансирует на уровне 12-14 % годовых).

Для реализации проекта комплексной застройки девелопер вкладывает 10 % собственных денежных средств, 25 % берет на себя привлекаемый крупный инвестор, 25-30 % за счет банковских средств, средства подрядчика составляют 10 %, остаток добирается за счет предарендных платежей клиентов, поиск которых начинается позже. Одним из действующих механизмов в решении проблемы, связанной с поиском инвестиций, является поддержка на уровне государства начинающих развиваться инвестиционно-строительных проектов. Опыт реализации таких проектов позволит выработать общие подходы к поддержке проектов комплексной жилищной застройки и создать необходимую законодательную базу. Проблемы, возникающие при формировании земельных участков и проведении торгов, а также получении разрешения на застройку земельного участка, приводят в целом к удорожанию строительства до 20 %, дефициту земельных участков, препятствуют динамичному развитию землепользования и градостроительства, здерживают темпы строительства и выполнение программ по обеспечению жильем [12, с.149]. Ещё одной немаловажной проблемой для застройщика является выбор земельного участка. Правильный выбор площадки для строительства является важнейшей предпосылкой снижения его общей стоимости, создания наиболее благоприятных условий для всех жизненных потребностей населения и обеспечения высокого архитектурного уровня планировки и застройки.

Проведем градостроительную оценку территорий на основе мониторинга свободных земельных участков в г.Пензе и её окрестностях с точки зрения их пригодности для комплексного освоения. Выделим территории, которые:

- пригодны под застройку в своем естественном состоянии;

- могут быть использованы под застройку лишь после проведения инженерно-мелиоративных мероприятий (искусственное улучшение свойств грунтов, понижение уровня грунтовых вод, укрепление оползней, пlyingунов и т.д.);

- непригодны под застройку, но могут быть использованы под зеленые насаждения или в других целях.

Штриховкой отметим земли, не предназначенные для строительства: земли сельскохозяйственного назначения, земли лесного фонда, историко-культурного наследия. Устанавливаем санитарно-защитные зоны для предприятий и водоохранные зоны для водоемов (рис. 3). На данных землях правилами землепользования и застройки запрещается строительство и иной вид деятельности, не соответствующий целевому назначению земельного участка.

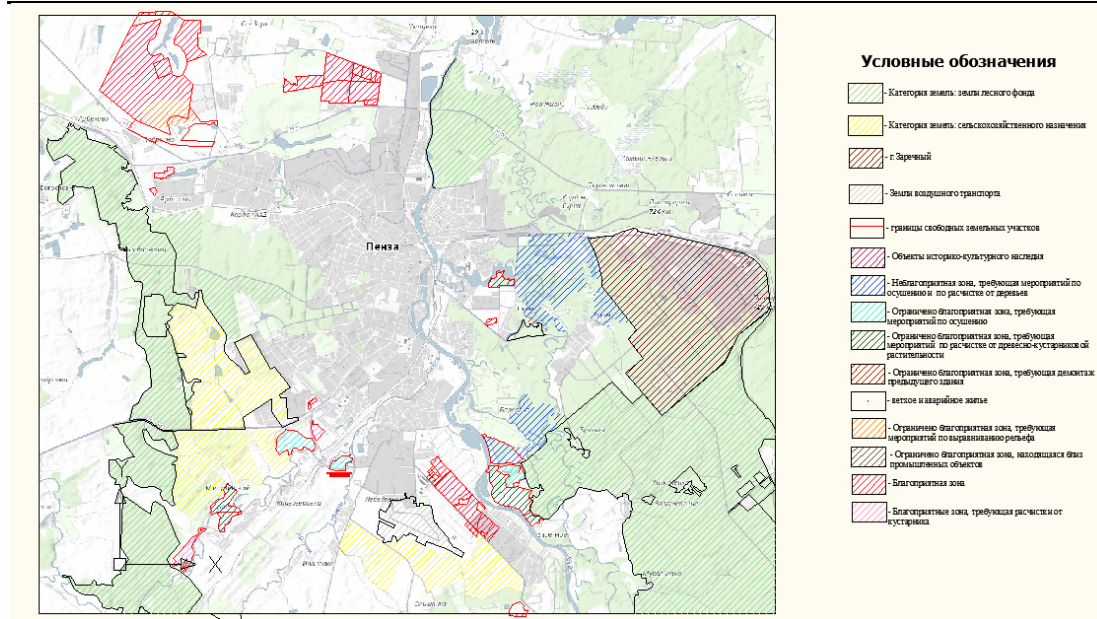


Рис. 3. Градостроительная оценка для комплексного освоения территорий

В ы в о д . В законодательной базе отсутствует, а в отечественной литературе не дается однозначного определения понятию «комплексное освоение территорий». На наш взгляд, комплексное освоение территории – это формирование застройщиком комфортной среды обитания для покупателя, которое включает в себя проектирование и строительство на земельном участке нескольких домов, объединенных общим архитектурным решением, а также объектов инженерной и социальной инфраструктуры. Такое определение в большей мере отражает комплексный подход к решению вопросов застройки земельных участков.

Градостроительный анализ освоения территорий Пензенской области показал положительные тенденции развития комплексной застройки сформированных земельных участков. Этому способствуют благоприятная обстановка на рынке недвижимости и наличие свободных земельных участков: цены на первичное и вторичное жилье растут, растет спрос населения, застройщики повышают объемы жилищного строительства и качество строящегося объекта.

Предлагаемый подход к градостроительной оценке для комплексного освоения территорий на основе мониторинга свободных земельных участков в г. Пензе и её окрестностях позволяет застройщикам сделать выбор в пользу пригодных под застройку земельных участков и их комплексного освоения. Правильный выбор площадки для строительства является важнейшей предпосылкой снижения его сроков и стоимости.

#### Список литературы

1. Гражданский кодекс Российской Федерации, часть 1 от 30.11.1994: Принят Гос. Думой 21.10. 1994 года № 51 – ФЗ / Информационно-правовой портал «Гарант». – URL: <http://base/garant.ru>
2. Постановление Правительства Пензенской области от 29.11.2010г. № 771-пП / Информационно-правовой портал «Гарант». – URL: <http://base/garant.ru>
3. Баронин, С.А. Экономический механизм инвестиционного развития комплексной застройки территорий на основе систем кадастра недвижимости: монография / С.А. Баронин, Е.А. Анчихров. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 156 с.
4. Баронин, С.А. Реализация функций девелопмента земельных участков в жилищных корпорациях при комплексном освоении территорий: монография / С.А. Баронин, И.Н. Сегаев. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 136 с.
5. Комплексная организация жилой застройки / К.Н. Красильникова, Е.С. Баженова, Л.М. Блинкова, Н.П. Титова. – М., 1991. – 84 с.

6. Люлькина, Н.М. Развитие муниципального рынка аукционных продаж земельных участков для жилищного строительства: автореф. канд. экон. наук / Н.М. Люлькина. – Пенза, 2015. – 24 с.
7. Официальный портал Правительство Пензенской области: официальный сайт. – М., 2017. – URL: <http://www.penza.ru/news/2012/06/18/17081926>.
8. Официальный сайт администрации города Пензы: официальный сайт. – М., 2017. – URL: <http://www.penza-gorod.ru/>
9. Прокопьева, Д.С. Комплексная застройка как перспективный путь развития городских территорий / Д.С. Прокопьева, А.Ф. Харисова, О.С. Ястребова // Молодёжь и наука: сборник материалов VII Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, посвященной 50-летию первого полета человека в космос. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section231.html>, свободный.
10. Строительная группа «Рисан». Официальный сайт. – URL: <http://www.risan-penza.ru/>
11. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пензенской области. – URL: [pnz.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/pnz/ru/statistics/](http://pnz.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/pnz/ru/statistics/)
12. Хаметов, Т.И. Эффективность управления земельно-имущественным комплексом на различных территориальных уровнях. Теория, методика и практика (на примере Приволжского федерального округа): дис. ... д-ра экон.наук / Т.И.Хаметов. – М.: ГУЗ, 2009. – 394 с.

## References

1. The Civil Code of the Russian Federation, part 1 of 30.11.1994: Gos. The Duma on 21.10. 1994 № 51 – FZ / Information and legal portal «Garant». – URL: <http://base/garant.ru>.
2. Decree of the Government of the Penza region of 29.11.2010. № 771-пП. / Information and legal portal «Garant». – URL: <http://base/garant.ru>.
3. Baronin, S.A. Economic mechanism of investment development of complex development of territories based on real estate cadastre systems: monograph / S.A. Baronin, E.A. Anchyhorov. – Penza: PGUAS, 2014. – 156 p.
4. Baronin, S.A. Realization of functions of land development in housing corporations in integrated development of territories: monograph / S.A. Baronin, I.N. Segaeв. – Penza: PGUAS, 2013. – 136 p.
5. The Complex Organization of Residential Buildings / K.N. Krasilnikova, E.S. Bazhenova, L.M. Blinkova, N.P. Titova. – М., 1991. – 84 p.
6. Lyulкина, N.M. Development of the municipal market of auction sales of land for housing construction: avtomref. Cand. Econ. Sciences / N.M. Lyulкина. – Пенза, 2015 – 24 p.
7. Official portal Government of the Penza region: official website. – М., 2011. – URL: <http://www.penza.ru/news/2012/06/18/17081926>.
8. Official site of the administration of Penza: the official website. – М., 2011. – URL: <http://www.penza-gorod.ru/>
9. Prokopieva, D.S. Integrated development as a promising way of development of urban areas / D.S. Prokopieva, A.F. Harisova, O.S. Yastrebova // Youth and Science: A Compendium of Materials of the VII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Graduate Students and Young Scientists, dedicated to the 50th anniversary of the first human flight into space. – Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2011. – URL: <http://conf.sfu-kras.ru/sites/mn2011/section231.html>, free.
10. Construction group Risan. Official site. – URL: <http://www.risan-penza.ru/>
11. Territorial body of the Federal State Statistics Service for the Penza region. – URL: [pnz.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/pnz/ru/statistics/](http://pnz.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/pnz/ru/statistics/)
12. Khametov, T.I. Efficiency of land-property complex management at various territorial levels. Theory, methodology and practice (on the example of the Privolzhsky Federal District): dis .... Dr. econ. Sciences / T.I. Khametov. – М.: State Educational Institution, 2009. – 394 p.

*Костромская государственная сельскохозяйственная академия*  
Россия, 156530, Костромская область, Костромской район, пос. Караваяево, Учебный городок,  
тел.: 8(4942)657110

**Кокшаров Александр Сергеевич**, кандидат архитектуры, доцент кафедры «Архитектура и изобразительные дисциплины»

E-mail: koksharov.kos@yandex.ru

**Высоцкая Виктория Владимировна**, студентка кафедры «Архитектура и изобразительные дисциплины»

*Kostroma State Agricultural Academy*

Russia, 156530, Educational small town, settlement of Karavayevo, Kostroma area, Kostroma region,  
tel.: 8(4942)657110

**Koksharov Alexander Sergeevich**, Candidate of architecture, Associate Professor of the department «Architecture and fine discipline»

E-mail: koksharov.kos@yandex.ru

**Vysotskaya Victoria Vladimirovna**, student of the department «Architecture and graphic disciplines»

## АРХИТЕКТУРА СЕЛЬСКИХ ТОРГОВЫХ ПЛОЩАДЕЙ ВЕРХНЕГО ПОВОЛЖЬЯ ВТОРОЙ ПОЛОВИНЫ XIX – НАЧАЛА XX ВВ.

А.С. Кокшаров, В.В. Высоцкая

Проанализировано поэтапное развитие архитектуры сельских торговых площадей региона Верхневолжья, приведены типология торговых и общественных зданий, факторы, повлиявшие на архитектуру зданий, и описана их роль в создании архитектурно-планировочной композиции торговой площади XIX в. Данные основаны на обширном архивном материале.

*Ключевые слова: торговая площадь, архитектура, торговые ряды, лавки, церкви*

## THE ARCHITECTURE OF RURAL TRADE AREAS OF THE UPPER VOLGA REGION IN THE SECOND HALF OF XIX – EARLY XX CENTURIES

A.S. Koksharov, V.V. Vysotskaya

The article examines the gradual development of the architecture of rural trade areas in the region of the upper Volga region, typology commercial and public buildings, factors influencing architecture of the buildings, and their role in creating the architectural composition of the trade area during the XIX century. The article is based on extensive archival material and bibliographic sources of Russian scientists.

*Keywords: trading area, architecture, shopping arcade, shops, churches*

Тема архитектуры торговых сел не получила должного внимания и до сих пор мало изучена. Архитектура региона Верхневолжья изучалась Т.М. Сытиной, отразившей в своих трудах особенности архитектуры Костромского края [1]. Иконников А.В. исследовал планировку сел Волго-Окского региона [2]. Вопросы формирования архитектуры торговых центров и ярмарок широко освещены С.М. Шумилкиным [3]. Русакомский И.К. рассматривает архитектурно-планировочные комплексы исключительно крупных торгово-промышленных сел Ивановской области [4]. Несмотря на это, вопросы архитектуры сельских торговых площадей не были полностью раскрыты. Мы поставили своей целью выявить особенности и типологию архитектуры сельских торговых площадей Верхнего Поволжья.

Одними из главных факторов создания комплекса зданий сельской площади были торговля и развитие ремесел, а в более поздний период (на рубеже XIX–XX веков) – промышленность. На первом этапе формирования сельской архитектуры в XVIII – первой четверти XIX века архитектура сельской площади складывалась из нескольких

типов зданий с главной доминантой – сельским храмом. Временный характер торговли в виде небольших торжков и ярмарок, сельских базаров не требовал зданий для торговли. Вначале для этой цели использовались каменные здания и сооружения церковной архитектуры: башни-кладовые церковной ограды, встроенные или пристроенные церковные лавки, временные деревянные сооружения. Состав зданий площади начала XIX века был ограничен двумя-тремя постройками: церковью, домом священника, соляным или хлебным казенным магазином (амбаром). Как правило, церкви ставились у главной дороги торгового села, и только потом формировались очертания самой торговой площади. В крупных селах Верхнего Поволжья были распространены храмовые комплексы: парные композиции храмов, ансамбли из двух храмов с отдельно стоящей колокольной (села Никола-Корма, Поречье – Рыбное, Великое Ярославской губ.), храмы с отдельно стоящей колокольной (села Савцино, Степурино, Рамешки Тверской губ.) [5]. Для проектирования и строительства храмов привлекались известные русские архитекторы С. Воротилов, Н.П. Метлин, П.Я. Паньков, К.И. Росси и др. Архитектура храмов имела вид позднего русского барокко или классицизма.

При первой же возможности делалась попытка властей отрегулировать план сельской торговой площади и сформировать ее заново с размещением новых построек. В 1789 году в селе Ставотино (Ярославская губ.) после пожара площадь получила прямоугольную форму [6]. С начала XIX века государство больше контролирует торговлю, в том числе сельскую, издавая указы и положения [7].

С развитием сельской торговли во второй половине XIX в. типология зданий расширяется и меняется, особенно в крупных торговых и торгово-промышленных селах. Возводятся склады товара длительного хранения, сельские торговые ряды, торговые лавки, важни, здания общественно-торговых функций (харчевни, чайные, постоянные дворы).

Во второй половине XIX века сельские площади окончательно закрепляют за собой статус регулярности, и архитектура торговых зданий возрастает до городского уровня [8]. К таким селам можно отнести Кимры, Молвитино, Вятское и т.д. В селе Порздни (Костромская губ.) торговая площадь включала в себя более восьми различных построек, из которых пять были торговыми (рис. 1). В селе Серeda (Ярославская губ.) торговая площадь неправильной трапециевидной формы насчитывала 9 зданий. Фронт застройки торговыми зданиями занимал 2/3 периметра площади. В Лацком была сформирована новая площадь прямоугольной формы. Для расширения торговли села в 1892 году архитектор Н.П. Гузеев выполнил проект новых каменных торговых рядов [9]. Фасады рядов вычерчены в кирпичном стиле с эклектичными формами и деталями. Торцевые фронтоны здания имеют богатую пластику в виде поясов в карнизах, пилястры, тумбы над карнизами (рис. 2). Для регулирования и развития экономических сел государство специально выпустило атласы проектов и чертежей в 1832, 1851, 1853 гг. В атласе 1853 года для сел были разработаны проекты деревянного гостиного двора и деревянных «базарных лавок», которые применялись в некоторых крупных селах (с. Прилуки Ярославской губ.) [10]. Деревянный корпус рядов рубили из бруса на каменных столбах с галереями, с которых устраивали входы в лавки или дверные проемы для загрузки товара. Кровля – двускатная из железа по стропилам на врубках.

Застройка сельских торговых площадей сформировалась в течение XIX –XX вв. (приблизительно с 1830 по 1910 гг.) с типологическим составом зданий общественной, жилой и торговой функций. Наряду с храмами преобладали торговые здания, построенные благодаря развитию сельской торговли. Полученная прибыль от торговли шла на строительство зданий с более богатой архитектурной стилистикой и декором. Особенно выделялись купеческие каменные дома с лавками. В зданиях сельских торговых площадей Верхнего Поволжья применялись разные стили и направления стиливой архитектуры: классицизм, различные стили эклектики – историзм (неоготика, необарокко), а также «русский стиль» и ретроспективизм (рис. 3).



Рис. 1. Схема торговой площади села Порздни:  
 1 – церковь Успения (1751 г.), колокольня (1801 г.); 2 – церковь Преображения (1768 г.);  
 3 – павильон-часовня церковной ограды (1849 г.); 4 – жилой дом с лавками; 5 – часовня  
 (кон. XIX в.); 6 – лавка и чайная А.И. Скорлупкиной; 7 – торговые ряды С.И. Подгузова  
 (1870-80-е гг.); 8 – чайная, лавка и гостиничные номера С.И. Плещеева (1870-е гг.);  
 9 – «нижние» торговые ряды

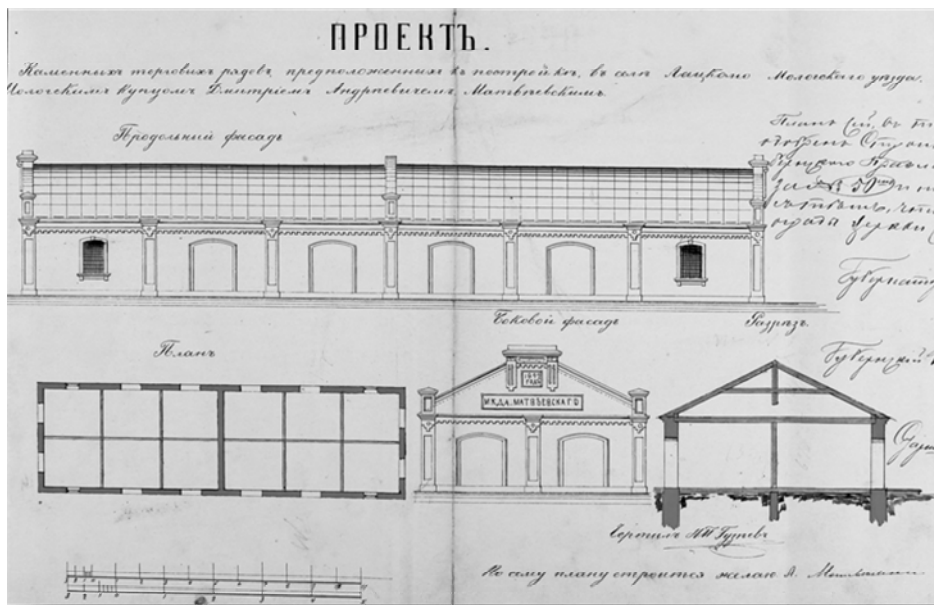


Рис. 2. Проект торговых рядов для села Лацкое, арх. Н.П.Гусев, 1892 г. (Ярославская губ.)

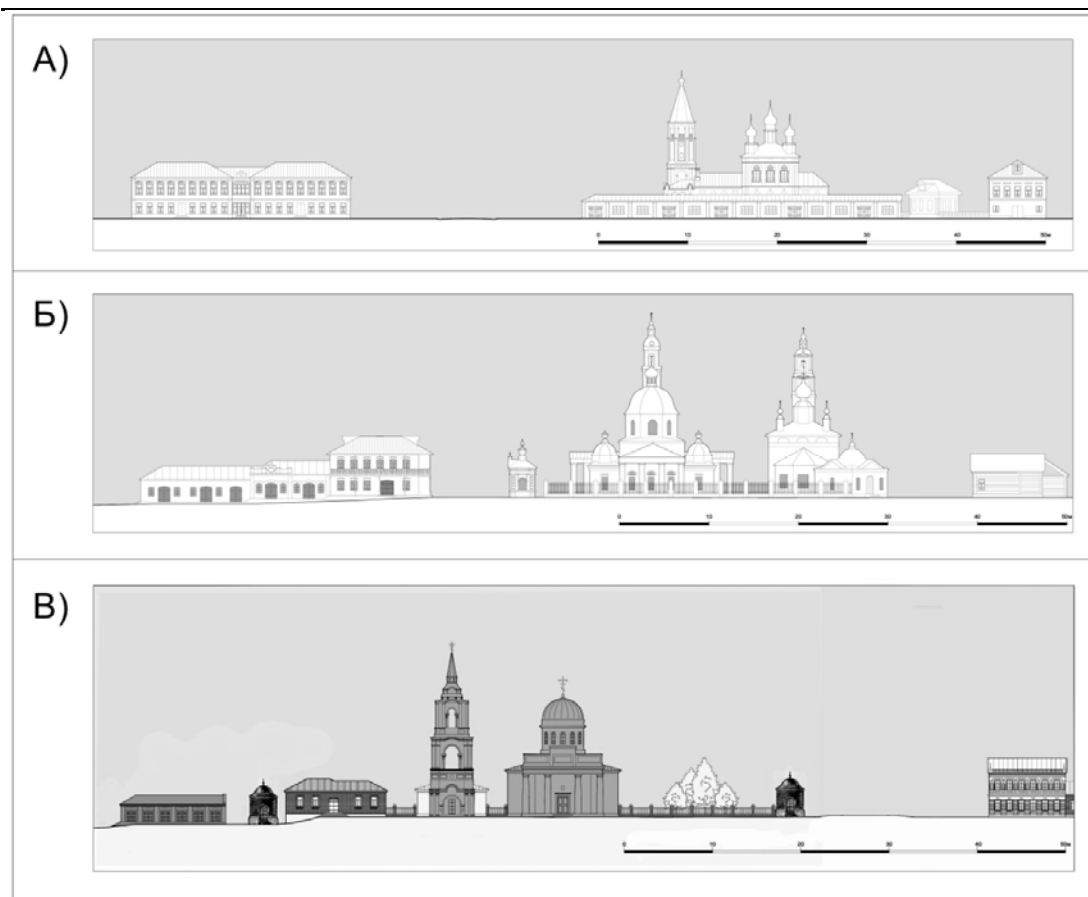


Рис. 3. Фронтальные развертки сельских торговых площадей Верхневолжья  
(на вторую половину XIX в.):  
А – село Серета, Ярославская губ.; Б – село Порздни, Костромская губ.;  
В – село Степурино, Тверская губ. Реконструкция автора

### Список литературы

1. Сытина, Т.М. Гражданская архитектура Верхнего Поволжья второй половины XVIII – первой трети XIX вв. Костромской край: автореф. дис. ... кандидата искусствоведческих наук / Т.М. Сытина. – М., 1952, – 28 с.
2. Иконников, А.В. Планировочные традиции в народном зодчестве / А.В. Иконников // Архитектурное наследие / гл. ред. А.Г. Чиняков. – М.: ГИЛСАСМ, 1962. – 159 с.
3. Шумилкин, С.М. Торговые центры европейской части России конца XVIII – первой половины XIX вв. / С.М. Шумилкин. – Н.Новгород: ННГАСУ, 2012. – 227 с.
4. Русакомский, И.К. Торгово-промышленные села Ивановской обл. // Памятники русской архитектуры и монументального искусства. Вып.1 / И.К. Русакомский; отв. ред. В.П.Выголов. – М.: Наука. 1980. – 246 с.
5. Кокшаров, А.С. Сельские торговые площади Верхнего Поволжья России второй половины XIX – начала XX вв. / А.С. Кокшаров // NOVATION. – 2016. – №2. – С. 81–86.
6. ГАЯО Ф82. Оп1. Ед.хр. 5, Л.10.
7. Павлова, О.К. Отечественная история. Российское предпринимательство и благотворительность / О.К. Павлова. – СПб., 2004. – 386 с.
8. Кириченко, Е.И. От торгово-промышленного села к городу – саду / Е.И. Кириченко // Градостроительное искусство. Новые материалы и исследования. – Вып.2. Памяти Андрея Владимировича Бунина / отв. ред. И.А.Бондаренко. – М.: Едиториал УРСС, 2010. – 319 с.
9. ГАЯО. Ф82. Оп.1. Ед.хр.1001. ЛЛ.1-3.



10. Атлас проектов и чертежей сельских построек, изданный от департамента сельского хозяйства М.Г.И. – СПб., 1853.

### References

1. Sytina, T. M. Civil architecture of the Upper Volga region of the second half of XVIII – first third XIX centuries in Kostroma region: author's abstract of the dissertation presented on competition of a scientific degree of candidate of Art Sciences / T.M. Sytina. – M., 1952. – 28 p.
2. Ikonnikov, A.V. Planning traditions in folk architecture / A.V. Ikonnikov // Architectural heritage / ed/ by G. Chinyakov. – M.: GILSUM, 1962. – 159 p.
3. Shumilkin, S.M. Shopping centers of the European part of Russia in the late XVIII – first half XIX centuries / S.M. Shumilkin. – Nizhny Novgorod: NNGASU, 2012. – 227 p.
4. Rusakomski, I.K. commercial-industrial village of Ivanovo region / I.K. Rusakomski // Monuments of Russian architecture and monumental art. – Vol.1 / resp. edited by V. Vygolov. – M.: Nauka, 1980. – 246 p.
5. Koksharov, A.S. Rural trade areas of the Upper Volga region of Russia in the second half of XIX – early XX centuries / A.S. Koksharov // Innovation. – 2016. – №2. – P. 81–86.
6. GAYO Ф82. Op1. units HR. 5, L. 10.
7. Pavlova, O.K. National history. Russian entrepreneurship and philanthropy / O.K. Pavlova. – SPb., 2004. – 386 p.
8. Kirichenko, E.I. From an industrial village to a city-garden / E.I. Kirichenko // Urban art. New materials and research. – Vol.2. To memory of Andrei V. Bunin / edited by Igor A. Bondarenko. – M.: Editorial URSS, 2010. – 319 p.
9. GAYO. Ф82. Op.1. Ed.XP.1001. LL.1-3.
10. Atlas projects and drawings of rural buildings, published by the Department of agriculture M. G. I. – SPb., 1853.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Садырова Маргарита Юрьевна**,  
кандидат исторических наук, доцент  
кафедры «Кадастр недвижимости и право»  
E-mail: ritasadyrova@mail.ru

**Шалдыбин Станислав Григорьевич**,  
кандидат исторических наук, доцент  
кафедры «Кадастр недвижимости и право»  
E-mail: zigk@pguas.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Sadyrova Margarita Yurievna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Inventory of the real estate  
and right»  
E-mail: ritasadyrova@mail.ru

**Shaldybin Stanislav Grigorievich**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor of  
the department «Inventory of the real estate  
and right»  
E-mail: zigk@pguas.ru

## ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

М.Ю. Садырова, С.Г. Шалдыбин

Показано, что несовершенство правового регулирования в сфере градостроительства состоит в отсутствии ряда нормативных актов, которые должны быть приняты в развитие Градостроительного кодекса РФ. Приведены рекомендации по мониторингу законодательства и правоприменительной практики с целью выявления пробелов и коллизий для скорейшего их устранения.

*Ключевые слова: градостроительная деятельность, законодательство, нормативное правовое регулирование*

## PROBLEMS OF LEGISLATIVE REGULATION OF TOWN- PLANNING ACTIVITY

M.Yu. Sadyrova, S.G. Shaldybin

In article it is shown that imperfection of legal regulation in the sphere of town planning consists in lack of a number of regulations which shall be accepted in development of the Town-planning code of the Russian Federation. Recommendations about monitoring of the legislation and law-enforcement practice for the purpose of identification of gaps and collisions for their fastest elimination are provided.

*Keywords: town-planning activity, legislation, standard and legal regulation*

### Введение

В соответствии с положениями Градостроительного кодекса (далее – ГрК РФ) нормативными правовыми актами Правительства Российской Федерации в сфере градостроительства должны быть урегулированы определенные вопросы [1]. Ряд актов приняты. В то же время до сегодняшнего дня на федеральном уровне не закреплены такие вопросы, как:

- порядок согласования проекта схемы территориального планирования Российской Федерации, состав и порядок работы согласительной комиссии (во исполнение ч. 12 ст. 12 ГрК РФ);
- порядок согласования проекта схемы территориального планирования муниципального района (во исполнение ч. 3 ст. 20 ГрК РФ);
- порядок согласования проекта генерального плана поселения, городского округа (во исполнение ч. 1 ст. 25 ГрК РФ);
- состав и требования к содержанию разделов проектной документации применительно к различным видам объектов капитального строительства, в том числе к

линейным объектам, а также состав и требования к содержанию разделов проектной документации применительно к отдельным этапам строительства, реконструкции объектов капитального строительства (во исполнение ч. 13 ст. 48 ГрК РФ);

– порядок проведения аккредитации на право проведения негосударственной экспертизы проектной документации и (или) негосударственной экспертизы результатов инженерных изысканий (во исполнение ч. 3 ст. 50 ГрК РФ);

– порядок внесения изменений в проектную документацию (во исполнение ч. 7 ст. 52 ГрК РФ);

– порядок проведения строительного контроля (во исполнение ч. 8 ст. 53 ГрК РФ);

– порядок приостановления строительства, реконструкции, капитального ремонта объекта капитального строительства (во исполнение ч. 6 ст. 54 ГрК РФ) [2].

### **Теоретический анализ**

Правовое регулирование полномочий органов местного самоуправления в области градостроительной деятельности осуществляется не всегда последовательно и демонстрирует ряд коллизий законодательства о местном самоуправлении и законодательства о градостроительной деятельности [3]. Так, отсутствие в федеральном законодательстве единых указаний к содержанию нормативных документов, принимаемых органами местного самоуправления по вопросам проведения публичных слушаний, ведет к тому, что они не учитывают многих обязательных требований Градостроительного кодекса, в том числе по обеспечению возможности гражданам включить свои предложения и замечания в протокол публичных слушаний. Как результат таких нарушений – протесты прокуратуры на предмет соответствия правовых актов органов местного самоуправления действующему законодательству [4].

В архивной базе протестов по результатам прокурорских проверок, размещенной на сайте Совета муниципальных образований Пензенской области, приводятся решения органов местного самоуправления, которые противоречат требованиям ч. 12 ст. 31 Градостроительного кодекса РФ, согласно которой публичные слушания по проекту правил землепользования и застройки проводятся комиссией, а не оргкомитетом; ст. 39 и 40 Градостроительного кодекса РФ, которые также предусматривают проведение публичных слушаний по вопросу предоставления разрешения на условно разрешенный вид использования земельного участка или объекта капитального строительства и по вопросу отклонения от предельных параметров разрешенного строительства, реконструкции объектов капитального строительства комиссией; не содержат прямо предусмотренного законодательством требования об организации органом местного самоуправления в обязательном порядке выставки, экспозиции демонстрационных материалов проекта генерального плана, выступления представителей органов местного самоуправления, разработчиков проекта генерального плана на собраниях жителей, в печатных средствах массовой информации, по радио и телевидению; предусматривают общий срок проведения публичных слушаний с момента оповещения жителей до дня опубликования заключения о результатах публичных слушаний всего 15 дней, в результате чего орган местного самоуправления имеет возможность не соблюдать более длительные сроки, предусмотренные ч. 2 ст. 28, ч. 13 ст. 31, ч. 7 ст. 39 Градостроительного кодекса РФ [4].

Не предусматривают решения и обязанности направления сообщения о проведении публичных слушаний по вопросу предоставления разрешения на условно разрешенный вид использования правообладателям земельных участков, имеющих общие границы с земельным участком, применительно к которому запрашивается данное разрешение, правообладателям объектов капитального строительства, расположенных на земельных участках, имеющих общие границы с земельным участком, применительно к которому запрашивается данное разрешение, и правообладателям помещений, являющихся частью объекта капитального строительства, применительно к которому запрашивается данное разрешение, а также сроки и его направления, что может способствовать коррупционным проявлениям в части лоббирования интересов отдельных хозяйственных субъектов и граждан.

Отсутствие данных административных процедур допускает возможность принятия нормативных правовых актов, прямо затрагивающих права граждан без мнения населения муниципального образования, возможность затягивания сроков принятия того или иного решения и др. [4]

Подвергается критике и само понятие градостроительной деятельности. Согласно ГрК РФ, градостроительная деятельность – «деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений» [1]. Закрепленное в законе понятие градостроительной деятельности сводится, по сути, к перечислению форм, посредством которых она осуществляется, и не отражает действительного смысла данного понятия [5].

В понятии градостроительной деятельности Градостроительный кодекс не устанавливает ни положений об обязательности учета интересов населения, ни положений об общественно-полезных целях градостроительной деятельности. В кодексе ни слова не говорится о балансе интересов, о том, что его цель – это градостроительное регулирование, что он был принят для того, чтобы люди, в частности горожане, жили лучше. Напротив, само понимание градостроительной деятельности и его последующая реализация в статьях кодекса ориентированы, скорее, на товарные отношения в сфере землепользования. Это выражается, в частности, в том, что население прямо не надделено какими-либо действенными механизмами защиты своих прав [5].

#### Результаты

Несовершенство законодательства в сфере градостроительства заключается в том, что не принят целый ряд нормативных актов в развитие ГрК РФ, как отмечалось выше, имеют место и противоречия между отдельными нормами. Необходимо постоянно вести работу по мониторингу законодательства и правоприменительной практики с целью выявления пробелов и коллизий для скорейшего их устранения.

В заключение следует подчеркнуть, что проблемы, связанные с наличием пробелов и коллизий в законодательстве как федерального, так и регионального уровней, отличаются особой актуальностью и требуют более активного обсуждения научной общественностью. Уточнение и дополнение некоторых правовых норм и механизмов осуществления градостроительной деятельности становится одной из главных задач разработки примерных правовых документов, регулирующих эту деятельность на региональном и местном уровнях.

#### Список литературы

1. Градостроительный кодекс Российской Федерации // Правовой сайт КонсультантПлюс. – URL: <http://www.consultant.ru/> (Дата обращения: 17.03.2016)
2. Шелихова, Т.Н. Состояние правового регулирования сферы жилищного и градостроительного законодательства в Пензенской области и не урегулированные на федеральном уровне вопросы / Т.Н. Шелихова // Право и политика. – № 8. – 2007 // Юридический портал Center Bereg. – URL: <http://www.center-bereg.ru/k2193.html> (Дата обращения: 02.08.2016)
3. Бурмистрова, С.А. Полномочия органов местного самоуправления в области градостроительной деятельности: автореф. дис. ... кандидата юридических наук. Специальность 12.00.02 – Конституционное право / С.А. Бурмистрова. – Челябинск, 2009. – 25 с. // Федеральный правовой портал «Юридическая Россия». – URL: <http://law.edu.ru/book/> (Дата обращения: 23.10.2016)
4. Архивная база протестов // Ассоциация «Совет муниципальных образований Пензенской области». – URL: <http://асмо.пенза.рф/content/law/index>.
5. Шепелев, В.В. Несовершенство понятия «градостроительная деятельность», закрепленного в Градостроительном кодексе Российской Федерации / В.В. Шепелев //

Вестник Пермского университета. Юридические науки. – № 2. – 2009 // Научная электронная библиотека E-library.ru. – URL: <http://elibrary.ru/> (Дата обращения: 02.08.2016).

#### References

1. Town-planning code of the Russian Federation // Legal website ConsultantPlus. – URL: <http://www.consultant.ru/> (Date of the address: 17.03.2016)
2. Shelikhova, T.N. The state of legal regulation of housing and town planning legislation in the Penza region and non regulated at the Federal level questions / T.N. Shelikhova // Law and policy. – No. 8. – 2007. [Text of document] // Juridical portal Center Bereg. – URL: <http://www.center-bereg.ru/k2193.html> (Date of the address: 02.08.2016)
3. Burmistrova, S.A. Powers of local authorities bodies in the field of town-planning activity: The abstract of the thesis for a degree of Candidate of Law Sciences. Specialty 12.00.02 – Constitutional right / S.A. Burmistrova. – Chelyabinsk, 2009. – 25 p. // Federal legal portal «Legal Russia». – URL: <http://law.edu.ru/book/> (Date of the address: 23.10.2016)
4. See: Archival base of protests // «Council of Municipalities of the Penza Region» Association. – URL: <http://asmo.penza.rf/content/law/index>.
5. Shepelev, V.V. The imperfection of the concept of «town-planning activity», legitimized in the Town-planning code of the Russian Federation / V.V. Shepelev // Vestnik of Perm University. Of legal science. – No. 2. – 2009 // Scientific electronic library E-library.ru. – URL: <http://elibrary.ru/> (Date of the address: 02.08.2016).

# ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

## ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 14.35.19

*Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства*  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Резник Семён Давыдович,**  
доктор экономических наук, профессор,  
зав.кафедрой «Менеджмент»  
E-mail: disser@bk.ru

**Холькина Ольга Валерьевна,**  
аспирант  
E-mail: olga-chapurina@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Reznik Semyon Davidovich,**  
Doctor of Economic Sciences, Professor,  
Head of the department of «Management»  
E-mail: disser@bk.ru

**Hol'kina Olga Valer'evna,**  
Postgraduate student  
E-mail: olga-chapurina@yandex.ru

### УПРАВЛЕНИЕ ВНЕАУДИТОРНОЙ РАБОТОЙ СТУДЕНТОВ: ОПЫТ ВЫПУСКАЮЩЕЙ КАФЕДРЫ СТРОИТЕЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА

С.Д. Резник, О.В. Холькина

Представлены опыт организации и проблемы управления внеаудиторной работой со студентами на кафедре университета. На примере кафедры «Менеджмент» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства рассмотрены конкретные формы и результаты внеаудиторной работы со студентами.

*Ключевые слова: строительство, образование, строительные вузы, студент, внеаудиторная работа со студентами, управление, опыт, организация, виды работ*

### MANAGEMENT OF EXTRACURRICULAR ACTIVITIES OF STUDENTS: THE EXPERIENCE OF THE GRADUATING DEPARTMENT OF A CIVIL ENGINEERING UNIVERSITY

S.D. Reznik, O.V. Holkina

The organization and management of students extracurricular activities at the University are discussed. On the example of the Department of Management of Penza State University of Architecture and Construction the specific forms and results of extracurricular activities with students are analyzed.

*Keywords: civil engineering, education, university, student, extracurricular activities, management, experience, organization, types of activities*

Основной целью образования в современных условиях является не просто обучение предметным знаниям, объем которых неуклонно растет, а формирование студента как активной творческой личности, способной планировать свою деятельность, ставить цели и добиваться результатов, обладающей нравственными идеалами и занимающей активную гражданскую позицию [1, с.72]. Одним из способов организации эффективного обучения, интенсификации образовательного процесса в высшей школе является создание единой системы аудиторной и внеаудиторной работы со студентами.

Внеаудиторная деятельность студента представляется важным компонентом системы высшего образования, позволяющим формировать компетентного специалиста. В целом она должна быть направлена на развитие креативности, ответственности, инициативности, мобильности студентов и способствует формированию основ будущей профессиональной деятельности, приобретению специальных знаний, навыков и умений [2, с.152].

Внеаудиторная работа со студентами рассматривается нами, с одной стороны, как вид деятельности, стимулирующий активность, самостоятельность, познавательный интерес, самообразование, толчок к дальнейшему повышению квалификации, а с другой – как система мероприятий или педагогических условий, обеспечивающих руководство самостоятельной деятельностью студентов. Студентами данный вид работы выполняется за рамками учебных занятий по заданию преподавателя, но без его непосредственного участия и более полно реализует коммуникативные возможности обучения.

Общая цель внеаудиторной работы со студентами – оказание содействия их самоопределению в социокультурном пространстве, формирование навыков самостоятельной деятельности.

Основными задачами такой работы в вузе представляются: развитие у студентов коммуникативных способностей, расширение их социального пространства, создание предпосылок для воспитания, формирования и самореализации творческих способностей студентов, поддержание и развитие лучших традиций кафедры, факультета и университета в целом и другие.

При эффективной организации профессионально ориентированная внеаудиторная деятельность может обеспечить студенту возможность получения дополнительных теоретических знаний, освоения практических навыков и формирования общекультурных и профессиональных компетенций [2, с.152].

Проблемы повышения качества организации и проведения внеаудиторной работы со студентами рассматривались в работах Н.А. Патова [1, с.72], М.С. Петровой [2, с.151], С.Д. Резника [3, с.146], А.Е. Черницова [4, с.655], С.Н. Макаровой [5, с.147], Л.А. Сон [6, с.294] и других авторов. Этими исследователями изучены проблемы, связанные с повышением качества внеаудиторной работы студентов: общие изменения контингента студентов, низкая мотивация студентов к учебной и научной деятельности, перегруженность учебного процесса аудиторными занятиями, отсутствие индивидуальных образовательных технологий, низкая коммуникативная грамотность студентов, развитие их творческого потенциала.

Несмотря на то, что вопросами повышения эффективности внеаудиторной работы занимались и продолжают заниматься многие ученые, ряд направлений этой деятельности остаются малоизученными: предпочтения студентов в период обучения, студенческое самоуправление, индивидуальная научная работа с преподавателями кафедры, наставничество старшекурсников, взаимодействие с выпускниками университета и другие.

Учитывая актуальность данной темы, на кафедре «Менеджмент» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства проведено исследование, целью которого явились рассмотрение результативности форм внеаудиторной работы со студентами, позволяющих повышать уровень усвоения теоретических знаний, формирование практических навыков студентов по выбранной специальности, а также

разработка практических рекомендаций по улучшению качества организации внеаудиторной работы на кафедре университета.

Мониторинг студентов был проведен с помощью специально разработанной анкеты. В опросе приняли участие более 400 студентов 13 государственных вузов Российской Федерации, представляющих 5 федеральных округов (Екатеринбург, Краснодар, Пенза, Ростов-на-Дону, Самара, Ставрополь, Таганрог и др.).

Особое внимание обращалось на: тягу студентов к обучению в вузе, их предпочтения в период обучения, заинтересованность в проведении научных исследований, участие во всероссийских и международных олимпиадах и конкурсах, участие в студенческом самоуправлении, спортивное и культурное развитие студентов и другое.

81 % опрошенных студентов – девушки и 19 % – юноши всех курсов бакалавриата и магистратуры. Анализ результатов опроса показывает, что высокую степень мотивации к обучению отмечают у себя 60 % студентов, но у 32 % процесс обучения не вызывает особых позитивных эмоций, а 9 % вообще отметили у себя отсутствие такой мотивации.

Отдельное внимание уделено анализу предпочтений студентов в период обучения в вузе. 33 % респондентов испытывают желание знать больше и активно заниматься научной деятельностью, 21 % опрошенных учатся старательно, имеют высокую посещаемость занятий, 15 % студентов испытывают тягу скорее к искусству, самостоятельности, 13 % – к занятиям спортом, 12 % студентов ищут работу или уже работают, а 6 % ищут для себя в основном развлечения.

Об интересе студентов к занятиям научными исследованиями свидетельствуют следующие результаты: 46 % студентов совместно с преподавателями кафедры с интересом участвуют в научных исследованиях и принимают активное участие во всероссийских и международных конкурсах, 39 % ответивших относятся к научным исследованиям равнодушно, занимаются исследованиями только по необходимости в соответствии с учебными планами, а 16 % вовсе не участвуют в «студенческой науке», мало информированы и не заинтересованы в участии в олимпиадах и конкурсах.

Одним из способов эффективной организации внеаудиторной работы является студенческое самоуправление. Под этим понимается целостный механизм, позволяющий студентам участвовать в управлении вузом, состоять в коллегиальных органах студенческого самоуправления. 51 % студентов в студенческом самоуправлении участвуют активно, 25 % опрошенных участвуют как исполнители, 14 % не участвуют совсем, а 10 % вообще не знают о существовании подобных структур в вузе.

49 % опрошенных студентов активно участвуют в культурно-массовых мероприятиях, проводимых вузом, 41 % тоже принимают в них участие, но на вспомогательных ролях, 10 % не принимают участия в культурных мероприятиях, предпочитают смотреть на других из зрительного зала.

Основную информацию о культурной жизни студенты получают из следующих источников: Интернет – 50 %, СМИ – 19 %, книги и журналы – 15 %, общение с интересными людьми – 11 %. 30 % студентов читают классическую и специальную литературу, расширяют свой кругозор, совсем не читают книг 19 % опрошенных студентов.

Эффективной организации внеаудиторной работы студентов в вузе может способствовать грамотно разработанная система внеаудиторной работы. На базе накопленного опыта многие вузы России разрабатывают программы по повышению качества организации и проведения внеаудиторной работы со студентами, которые включают в себя следующие направления [1, с.73; 2, с.151; 6, с.294]:

- организация студентами презентаций направлений и профилей подготовки своей будущей профессии, участие в олимпиадах по своему профилю;
- участие в проведении семинаров-практикумов, мастер-классов по организации летней работы студентов (студенческие лагеря);
- культурно-массовая работа студентов (концерты, конкурсы танцев и пения, театр, КВН, спортивные соревнования, посещение музеев, различных выставок, экскурсий и др.);



- взаимодействие с организациями здравоохранения, образования, социальной защиты населения в рамках проведения различных социальных акций;
- проведение круглых столов с элементами деловой игры по решению актуальных вопросов для того или иного направления обучения студентов.

Благодаря такой работе у студентов повышается мотивация к обучению, уровень успеваемости, развивается творческий потенциал, формируются нравственные, коммуникативные и организаторские качества, повышается чувство ответственности за принятие решений.

Активно занимается организацией внеаудиторной работы со студентами Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, в том числе его кафедра «Менеджмент». Преподавателями кафедры «Менеджмент» используются следующие формы внеаудиторной работы со студентами: студенческое самоуправление, научные кружки, работа с кураторами, школа молодого учёного и преподавателя, олимпиады и конкурсы, студенческая кафедра, издание студенческой газеты «Менеджер», ассоциация выпускников. Рассмотрим содержание отдельных форм внеаудиторной работы со студентами более подробно.

*Институт студенческих лидеров.* Важной составной частью всей внеаудиторной работы является участие студентов в студенческом самоуправлении. В Институте экономики и менеджмента ПГУАС реализован педагогический проект, получивший название «Институт студенческих лидеров» (ИСЛ). Назначением такого института, где все роли исполняют сами студенты, является подготовка лидерского звена студенчества как элитной части молодежи к реальной практической деятельности, приобретение первичного опыта общественной активности, достаточного для получения работы в фирмах в период обучения в вузе.

В самоуправляемом институте студенческих лидеров представлены в форме факультетов следующие направления развития лидерской деятельности студентов: деловое администрирование, менеджмент в науке, менеджмент в бизнесе, менеджмент в культуре, менеджмент в журналистике, менеджмент в спорте. Все фирмы института студенческих лидеров (их более 40) возглавляют сами студенты.

*Научные кружки.* Каждый преподаватель кафедры ведет свой научный кружок, в который входят студенты разных курсов. Научный кружок формируется по научным направлениям преподавателей. У каждого преподавателя собирается своя команда исследователей, с которой они тесно работают по определенной проблеме. На основе результатов работы студенты принимают активное участие в конкурсах, олимпиадах и занимают призовые места.

*Кураторство студенческих групп младших курсов.* Идея назначения кураторов заключается в прикреплении преподавателей выпускающих кафедр к студенческим группам для оказания помощи студентам младших курсов. Такой подход позволяет выпускающей кафедре участвовать в учебных, культурных, спортивных мероприятиях студенческих групп и влиять на эти процессы.

Кураторы проводят встречи с группами, индивидуальные беседы с неуспевающими студентами, организуют помощь однокурсников слабоуспевающим.

Наряду с кураторством, кафедрой «Менеджмент» многие годы практикуется прикрепление первокурсников к старшекурсникам. Работа первокурсника со старшекурсником проходит в течение первого года обучения. Первокурсник оказывает помощь старшекурснику в подборе литературы к дипломному проекту, оказывает помощь в организации и проведении исследования, анкетного опроса. Старшекурсник, в свою очередь, оказывает помощь первокурснику во время адаптации к учебе в университете. Обязательным является присутствие и участие первокурсника в защите дипломного проекта его старшекурсника. По окончании их работы составляется отчет студента-дипломника о своей работе с первокурсником и отзыв студента-дипломника о работе со старшекурсником.

*Школа молодого учёного и преподавателя.* На кафедре «Менеджмент» организована и работает «Школа молодого ученого и преподавателя», в которой активно принимают участие студенты преимущественно 3-го, 4-го и 5-го курсов,

интересующиеся научной деятельностью. Этот проект направлен на развитие профессиональной научно-образовательной платформы для студентов, будущих магистрантов и аспирантов Института экономики и менеджмента ПГУАС.

Основными задачами деятельности Школы являются: отбор и подготовка сильных студентов, заинтересованных в научной деятельности и дальнейшем обучении в магистратуре, аспирантуре; вовлечение молодых специалистов в научно-исследовательскую деятельность; формирование базы практических навыков и умений, направленных на развитие научных инициатив; содействие профессиональному становлению, максимальному использованию научного потенциала начинающих молодых ученых.

*Участие студентов в олимпиадах и конкурсах.* Ежегодно кафедрой «Менеджмент» проводятся конкурсы по специальности для студентов 3–4-го курсов, что позволяет повысить активность студентов при изучении специальных дисциплин, оценить их способность в решении многоплановых и комплексных задач. Разновидностью этого конкурса является конкурс на лучший дипломный проект, проводимый только для выпускников текущего года, а также внутривузовский конкурс лучших научных работ и внутривузовский смотр-конкурс студенческих работ, научных и методических работ преподавателей совместно со студентами и научно-исследовательских работ преподавателей. Кафедра организует и проводит межвузовские конференции студентов и аспирантов.

*Олимпиада развития народного хозяйства России (2011–2016 гг.)* Из года в год студенты, аспиранты и преподаватели кафедры «Менеджмент» принимают активное участие во Всероссийской олимпиаде развития народного хозяйства, которую проводит Молодежный союз экономистов и финансистов (МСЭФ). Студенты, аспиранты и преподаватели кафедры «Менеджмент» на протяжении многих лет участия в конкурсах Всероссийской олимпиады развития народного хозяйства России нередко занимают призовые места (см. таблицу).

Итоги участия студентов и аспирантов кафедры «Менеджмент»  
в конкурсах Всероссийской олимпиады развития народного хозяйства России  
за период с 2011 по 2016 год

| Год   | 1 места | 2 места | 3 места | Спец. призы | Всего побед |
|-------|---------|---------|---------|-------------|-------------|
| 2011  | 7       | 4       | 6       | 17          | 34          |
| 2012  | 11      | 4       | 1       | 3           | 19          |
| 2013  | 15      | 10      | 3       | 0           | 28          |
| 2014  | 9       | 4       | 3       | 9           | 25          |
| 2015  | 17      | 6       | 0       | 7           | 30          |
| 2016  | 15      | 6       | 4       | 9           | 34          |
| Всего | 74      | 34      | 17      | 45          | 170         |

По результатам участия в олимпиаде 2016 года студенты кафедры «Менеджмент» получили наибольшее количество наград среди студентов тридцати кафедр университета.

По количеству призовых мест ПГУАС на протяжении нескольких лет занимает первые места среди вузов города Пензы, а Пензенская область заняла 4-е место среди регионов России во Всероссийской олимпиаде развития народного хозяйства в России в 2016 году (в 2015 г. – 4-е место, в 2014 г. – 5-е место, в 2013 г. – 4-е место).

*Студенческая кафедра.* Уникальной формой внеаудиторной работы со студентами кафедры «Менеджмент» является организация работы студенческой кафедры. Работа студенческой кафедры состоит из двух направлений: организационного и научно-методического.

Организационные обязанности члена студенческой кафедры включают в себя: работу с организационной и вычислительной техникой с соответствующим программ-

ным обеспечением, работу с информацией, составление документов, прием телефонных звонков и другую работу технического характера.

Научно-исследовательские и научно-методические обязанности члена студенческой дирекции включают в себя взаимодействие с прикрепленным куратором – профильным заместителем заведующего кафедрой (по учебной работе, по научной работе, по социальной и воспитательной работе), написание совместно с преподавателем научных статей по итогам исследований.

Благодаря работе на студенческой кафедре у студентов развиваются такие личные качества, как организованность, самодисциплина, эмоционально-волевой потенциал, самоконтроль своей деятельности.

*Студенческая газета «Менеджер».* В рамках Института студенческих лидеров активно работает факультет менеджмента в журналистике, что позволяет студентам выпускать собственную газету «Менеджер».

Студенческая редакция состоит из главного редактора, нескольких редакторов, корреспондентов, фотографов и дизайнеров. В начале каждого учебного года студенты составляют план работы на год, который опирается главным образом на план мероприятий университета. Газету выпускают два раза в год, как правило, в конце каждого учебного семестра.

Студенческая газета включает большое количество рубрик, которые рассказывают о жизни редакции, работе ИСЛ, о науке, студенческих инновациях и творчестве, о работе для студентов, об успехах выпускников и будущих студентов, о работе библиотеки и читального зала, о традициях Института; также публикуются различные шутки и стихи.

*Ассоциация выпускников.* Ассоциация выпускников представляет собой объединение выпускников для интеллектуальной, финансовой, творческой, имущественной и иной помощи институту экономики и менеджмента ПГУАС, а также осуществления посредничества при взаимных деловых контактах между студентами и выпускниками института.

Задачами ассоциации выпускников являются: сбор информации и создание единой информационной базы данных о выпускниках, проведение социологических, маркетинговых и иных исследований; организация встреч выпускников, проведение семинаров, конференций и других мероприятий с участием членов Ассоциации выпускников; содействие в трудоустройстве выпускников и участие выпускников Института в проводимых культурно-массовых мероприятиях.

Принимая активное участие во внеаудиторной работе, студенты кафедры «Менеджмент» ПГУАС развивают деловые, лидерские, предпринимательские качества. Они получают реальный опыт управления фирмой. Им предоставляется возможность знакомства и общения с успешными предпринимателями, учеными, представителями культуры.

#### Выводы

1. Анализ организации внеаудиторной работы студентов в вузах России показал отсутствие достаточной мотивации у значительной части студентов к организации и проведению научных исследований, конкурсов и олимпиад, участию в культурно-массовых мероприятиях.

2. Представлены новые формы внеаудиторной работы студентов, реализуемые кафедрой «Менеджмент» на протяжении ряда лет: студенческое самоуправление, школа молодого ученого и преподавателя, научные кружки, кураторство, студенческая кафедра, студенческая газета, ассоциация выпускников другие.

3. Реализация предлагаемой системы внеаудиторной работы со студентами на кафедре позволяет: систематизировать, закреплять и расширять теоретические знания и практические навыки студентов; развивать познавательные способности и активность студентов; формировать самостоятельность мышления, способность к саморазвитию и самореализации; стимулировать интерес к исследовательской работе; формировать ключевые компетенции, а именно: углублять эрудицию и кругозор студентов,

способствовать освоению ими информационных технологий, развивать лидерские качества, прививать чувства коллегиальности, преемственности и ответственности.

#### Список литературы

1. Патов, Н.А. Особенности формирования учебной мотивации студентов / Н.А. Патов, С.И. Морозова // Высшее образование сегодня. – 2014. – №1. – С. 72–74.
2. Петрова, М.С. Особенности организации внеаудиторной деятельности в высшей школе / М.С. Петрова // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Серия: Педагогика. Психология. Социальная работа. Ювенология. Социокинетика. – 2015. – №3 (том 21). – С. 151–152.
3. Резник, С.Д. Кто научит студента жить? / С.Д. Резник // Высшее образование в России. – 2015. – № 1. – С.146–151.
4. Резник, С.Д. Развитие предпринимательства в студенческой среде на основе активизации студенческого самоуправления / С.Д. Резник, А.Е. Черницов // Russian journal of management. – 2015. – №6. – С.655–661.
5. Резник, С.Д. Профессиональная и социальная подготовка молодежи к реальной жизни: опыт регионального вуза / С.Д. Резник, С.Н. Макарова // Экономическая наука современной России. – 2014. – №3(66). – С.147–160.
6. Сон, Л.А. Инновационный потенциал внеаудиторной работы студентов / Л.А. Сон // Вестник Омского университета. – 2011. – №4. – С.294–298.

#### References

1. Patov, N.A. Features of forming of students educational motivation / N.A. Patov, S.I. Morozova // Higher education today. – 2014. – No. 1. – P. 72–74.
2. Petrova, M.S. Features of extracurricular activities organization in higher school / M.S. Petrova // Bulletin of the Kostroma state University. N. Nekrasov. Series: Pedagogy. Psychology. Social work. Juvenology. Sotsiogenetiki. – 2015. – No. 3 (volume 21). – P. 151–152.
3. Reznik, S.D. Who will teach a student to live? / S.D. Reznik // Higher education in Russia. – 2015. – No. 1. – P. 146–151.
4. Reznik S.D. Development of entrepreneurship among students through increased student self-government / S.D. Reznik, A.E. Chernitsov // Russian journal of management. – 2015. – No. 6. – P. 655–661.
5. Reznik, S.D. Professional and social preparation of youth for real life: experience of the regional higher education / S.D. Reznik, SN. Makarova // Economic science of modern Russia. – 2014. – No. 3(66). – P. 147–160.
6. Son, L.A. Innovative potential of extracurricular work of students / L.A. Son // Herald of Omsk University. – 2011. – No. 4. – P. 294–298.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Усатенко Анна Николаевна**,  
старший преподаватель кафедры  
«Экономика, организация и управление  
производством»  
E-mail: usatenkoan@yandex.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Usatenko Anna Nikolaevna**  
Senior lecturer of the department «Economics,  
Organization and Management  
of Production»  
E-mail: usatenkoan@yandex.ru

## ЗНАЧЕНИЕ АНАЛИЗА КЛЮЧЕВЫХ ФИНАНСОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

А.Н. Усатенко

Обозначена актуальность финансового анализа ключевых показателей деятельности строительного предприятия. Проведен анализ показателей финансовой устойчивости (коэффициент автономии, коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами, коэффициент покрытия инвестиций) и показателей ликвидности (коэффициент текущей ликвидности, коэффициент быстрой ликвидности, коэффициент абсолютной ликвидности). Приведен обзор финансовых результатов деятельности. Подведены итоги и даны рекомендации по повышению эффективности деятельности предприятия.

*Ключевые слова: деятельность предприятия, повышение эффективности деятельности, финансовая устойчивость, ликвидность, прибыль, рентабельность*

## VALUE OF ANALYSIS OF KEY INDICATORS TO IMPROVE FINANCIAL PERFORMANCE OF CONSTRUCTION COMPANIES

A.N. Usatenko

The urgency of the financial analysis of key performance indicators of construction enterprises is presented. The analysis of financial soundness stability (equity ratio, ratio of its own working capital, investment coverage ratio) and liquidity (current ratio, quick ratio, cash ratio) is given. The review of financial performance is shown. The results and recommendations to improve the efficiency of the enterprise are shown.

*Keywords: company activities, increasing the efficiency of operations, financial stability, liquidity, earnings, profitability*

Одним из важнейших условий успешного функционирования предприятий строительного комплекса является грамотное управление финансами предприятия. Финансовое состояние предприятия характеризуется совокупностью показателей, отражающих процесс формирования и использования его финансовых средств. В рыночной экономике финансовое состояние предприятия отражает конечные результаты его деятельности. Конечные результаты деятельности предприятия интересуют не только работников самого предприятия, но его партнеров по экономической деятельности, государственные, финансовые, налоговые органы и др. [1].

Все это предопределяет важность проведения анализа финансового состояния предприятия и повышает значение такого анализа в современных условиях хозяйствования.

Объектом нашего исследования является общество с ограниченной ответственностью «МУЛЬТИГРУП Девелопмент». Компания начала свою деятельность на рынке недвижимости г. Москвы в 1999 году с возведения отдельных домов, проектирования и строительства коттеджных поселков. Отличаясь четкой профессиональной организацией управления проектами, компания заняла достойную позицию на рынке.

С целью выявления и мобилизации резервов повышения рыночной стоимости и обеспечения устойчивого экономического роста предприятия был проведен финансовый анализ ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент».

Активы на 31 декабря 2016 г. характеризуются следующим соотношением: 17,3 % внеоборотных активов и 82,7 % текущих. Активы организации за весь анализируемый период увеличились на 20 395 тыс. руб. (на 44 %). Хотя имел место рост активов, собственный капитал уменьшился на 10,7 %, что негативно характеризует динамику изменения имущественного положения организации.

Наглядно соотношение основных групп активов организации представлено на диаграмме (рис. 1).

Рост величины активов организации связан, в основном, с ростом следующих позиций актива бухгалтерского баланса (в скобках указана доля изменения статьи в общей сумме всех положительно изменившихся статей):

- дебиторская задолженность – 23 967 тыс. руб. (93,1 %);
- прочие оборотные активы – 1 782 тыс. руб. (6,9 %).

Одновременно в пассиве баланса прирост произошел по строке «краткосрочные заемные средства» (+21 655 тыс. руб., или 100 % вклада в прирост пассивов организации за последний год).

Среди отрицательно изменившихся статей баланса можно выделить «денежные средства и денежные эквиваленты» в активе и «кредиторская задолженность» в пассиве (–4 883 тыс. руб. и –1 145 тыс. руб. соответственно).

Собственный капитал организации на 31.12.2016 равнялся 1 189,0 тыс. руб. За год собственный капитал организации заметно снизился (на 115 тыс. руб.).

Чистые активы организации на последний день анализируемого периода меньше уставного капитала в 118,9 раза. Такое соотношение отрицательно характеризует финансовое положение и не удовлетворяет требованиям нормативных актов к величине чистых активов организации. Также следует отметить снижение чистых активов на 10,7 % за период с 01.01.2016 по 31.12.2016. То есть наблюдается одновременно и критическое положение на конец периода и ухудшение показателя в течение периода. Сохранение имевшей место тенденции может привести к крайне негативным последствиям. На графике (рис. 2) наглядно представлена динамика чистых активов и уставного капитала организации.

Исследование показателей финансовой устойчивости показало следующее. Коэффициент автономии организации на 31.12.2016 составил 0,02. Полученное значение свидетельствует о всецелой зависимости организации от заемного капитала. За 2016 г. произошел существенный рост коэффициента автономии на 0,01.

На 31 декабря 2016 г. коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами равнялся 0,23. За год коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами значительно вырос (на 0,14). На 31.12.2016 коэффициент имеет крайне неудовлетворительное значение.

Коэффициент покрытия инвестиций за последний год увеличился с 0,02 до 0,03 (т.е. на 0,01). Значение коэффициента на 31 декабря 2016 г. значительно ниже нормативного значения (доля собственного капитала и долгосрочных обязательств в общей сумме капитала организации составляет 2 %).

Коэффициент обеспеченности материальных запасов на 31.12.2016 равнялся 454,79, но на 31 декабря 2015 г. коэффициент обеспеченности материальных запасов равнялся 48,48 (произошло снижение на 406,31). По состоянию на 31.12.2016 значение коэффициента обеспеченности материальных запасов является крайне негативным.

Коэффициент краткосрочной задолженности организации указывает на отсутствие долгосрочной задолженности при 100 % краткосрочной.

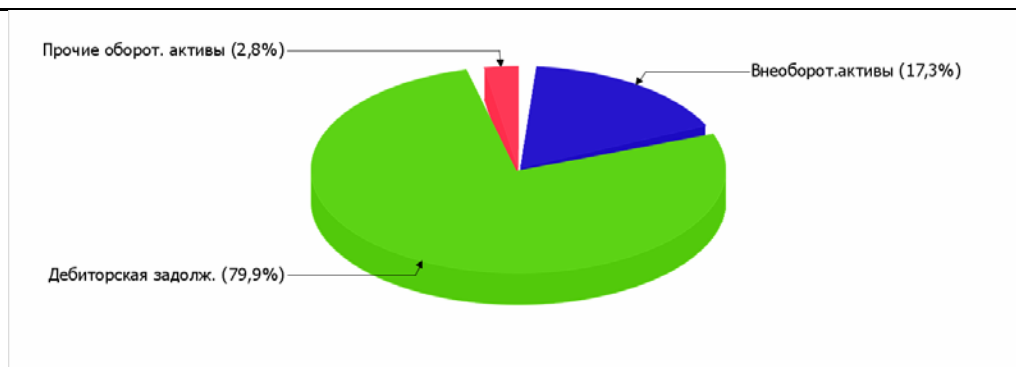


Рис. 1. Структура активов ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент» на 31 декабря 2016 г.

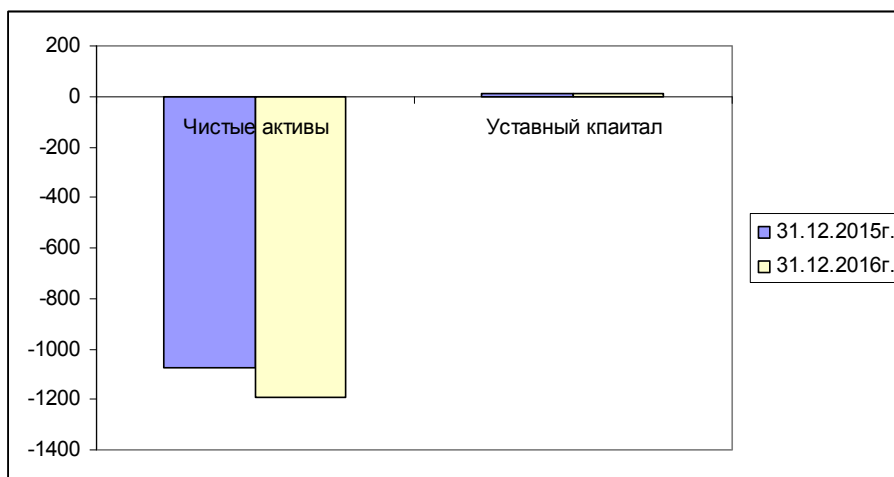


Рис. 2. Динамика чистых активов и уставного капитала ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент»

Показатели ликвидности по состоянию на 31.12.2016 имеют следующие значения. Коэффициент текущей ликвидности имеет значение ниже нормы (0,81 против нормативного значения 2). Несмотря на это следует отметить положительную динамику – за год коэффициент вырос на 0,08.

Значение коэффициента быстрой (промежуточной) ликвидности тоже не соответствует норме – 0,78 при норме 1. Это означает, что у ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент» недостаточно активов, которые можно в сжатые сроки перевести в денежные средства, чтобы погасить краткосрочную кредиторскую задолженность.

Коэффициент абсолютной ликвидности, как и два других коэффициента, имеет значение ниже нормы ( $<0,01$ ). При этом нужно обратить внимание на имевшее место негативное изменение за год – коэффициент абсолютной ликвидности снизился на 0,1.

Обзор финансовых результатов деятельности организации выглядит следующим образом.

Из «Отчета о прибылях и убытках» следует, что в течение анализируемого периода организация получила прибыль от продаж в размере 1 180 тыс. руб., что составило 2,5 % от выручки. По сравнению с аналогичным периодом прошлого года прибыль от продаж снизилась на 758 тыс. руб., или на 39,1 %.

По сравнению с прошлым периодом уменьшилась как выручка от продаж, так и расходы по обычным видам деятельности (на 17 008 и 16 250 тыс. руб. соответственно).

Изучая расходы по обычным видам деятельности, следует отметить, что организация, как и в прошлом году, учитывала общехозяйственные (управленческие) расходы в качестве условно-постоянных, относя их по итогам отчетного периода на реализованные товары (работы, услуги).

Убыток от прочих операций за год составил 1 169 тыс. руб., что на 1 856 тыс. руб. (61,4 %) меньше, чем убыток за аналогичный период прошлого года.

На рис. 3 наглядно представлено изменение выручки и прибыли общества с ограниченной ответственностью «МУЛЬТИГРУП Девелопмент» в течение всего анализируемого периода.

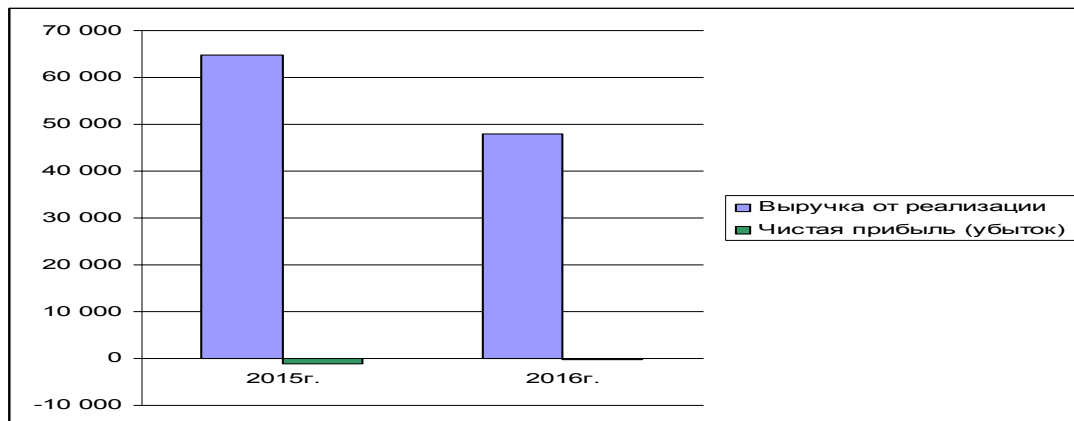


Рис. 3. Динамика выручки и прибыли ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент»

За анализируемый период организация получила прибыль от продаж и прибыль до вычета процентных расходов и расходов по налогу на прибыль (ЕВІТ), что и обусловило положительно значение первых двух показателей рентабельности. Но дополнительные расходы в виде процентов и налога на прибыль привели к отрицательному значению рентабельности, рассчитанной по чистой прибыли.

Рентабельность продаж за весь рассматриваемый период составила 2,5 %. Однако имеет место падение рентабельности продаж по сравнению с данным показателем за аналогичный период года, предшествующего отчётному (0,5 %).

Показатель рентабельности, рассчитанный как отношение прибыли до процентов к уплате и налогообложения (ЕВІТ) к выручке организации, за последний год составил 5,7 %. Это значит, что в каждом рубле выручки общества с ограниченной ответственностью «МУЛЬТИГРУП Девелопмент» содержалось 5,7 коп. прибыли до налогообложения и процентов к уплате. На рис. 4 показана динамика показателей рентабельности предприятия.

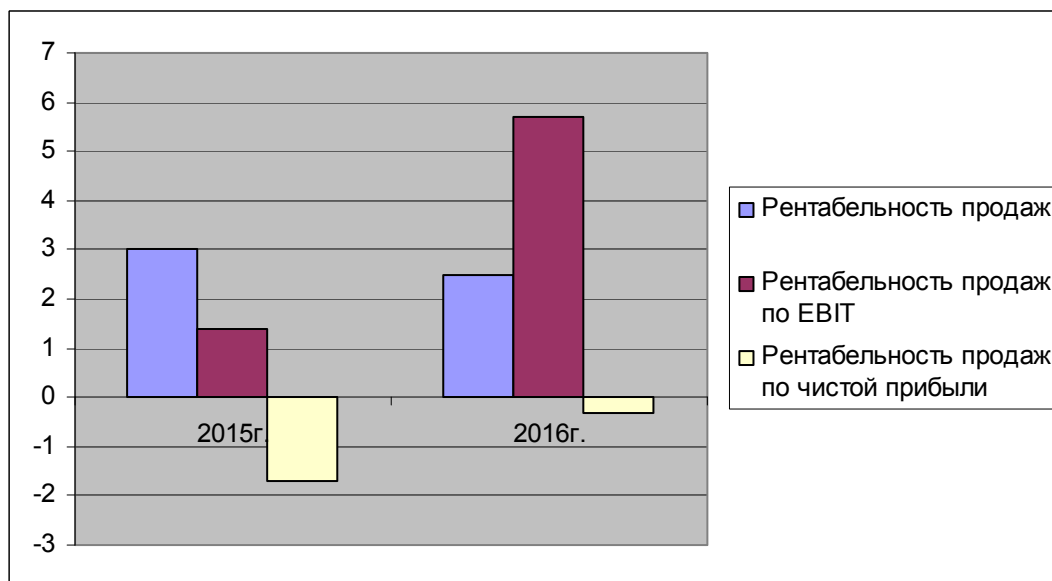


Рис. 4. Динамика показателей рентабельности ООО «МУЛЬТИГРУП Девелопмент»

Поскольку у организации фактически отсутствовал собственный капитал (в среднем составил отрицательную величину: –1 189 тыс. руб. на 31.12.2016 и –1 074 тыс.



руб. на 31 декабря 2015 г.), значение показателя рентабельности собственного капитала за весь анализируемый период отсутствует.

За последний год значение рентабельности активов, равное 0,3 %, не соответствует нормативному и находится в области критических значений.

Таким образом, финансовый анализ ключевых показателей деятельности ООО «МУЛЬТИГРУПП Девелопмент» показал следующее.

С негативной стороны финансовое положение и результаты деятельности организации характеризуют такие показатели:

- коэффициент быстрой (промежуточной) ликвидности ниже нормального значения;
- значительная отрицательная динамика прибыльности продаж (0,5 процентных пункта от рентабельности за аналогичный период прошлого года, равной 3 %);
- уменьшение собственного капитала организации ООО «МУЛЬТИГРУПП Девелопмент», при том что активы организации увеличились на 20 395 тыс. руб. (на 44 %);
- не соблюдается нормальное соотношение активов по степени ликвидности и обязательств по сроку погашения;
- неустойчивое финансовое положение по величине собственных оборотных средств;
- убыток от финансово-хозяйственной деятельности за период с 01.01.2016 по 31.12.2016 составил –146 тыс. руб. (+946 тыс. руб. по сравнению с аналогичным периодом прошлого года).

Показатели финансового положения организации, имеющие критические значения:

- полная зависимость организации от заемного капитала (отрицательная величина собственного капитала);
- чистые активы меньше уставного капитала, при этом за период имело место снижение величины чистых активов;
- коэффициент текущей (общей) ликвидности существенно ниже нормального значения;
- значительно ниже нормы коэффициент абсолютной ликвидности;
- коэффициент покрытия инвестиций значительно ниже нормы (доля собственного капитала и долгосрочных обязательств в общей сумме капитала организации составляет 2 % (нормальное значение: 70 % и более)).

Единственным показателем, имеющим положительное значение, является рост прибыли до процентов к уплате и налогообложения (ЕБИТ) на рубль выручки организации (+4,3 коп. к 1,4 коп. с рубля выручки за аналогичный период года, предшествующего отчетному).

Среди всех полученных в ходе анализа показателей имеется один, имеющий значение на границе нормативного – за 2016 год получена прибыль от продаж (1 180 тыс. руб.), хотя и наблюдалась ее отрицательная динамика по сравнению с аналогичным периодом прошлого года (–758 тыс. руб.).

На основании качественной оценки значений показателей на конец анализируемого периода, а также их динамики в течение периода и прогноза на ближайший год, сделаны следующие выводы: финансовое положение характеризуется как критическое; финансовые результаты за 2016 г. – как очень плохие.

Проведенный финансовый анализ ключевых показателей ООО «МУЛЬТИГРУПП Девелопмент» позволил сформулировать следующие предложения и рекомендации с целью повышения эффективности деятельности:

- уменьшить внеоборотные активы за счет сдачи в аренду невостребованных производственных и административных площадей;
- увеличить выручку от реализации услуг путем поиска новых рынков сбыта, проведения рекламной кампании и нахождения более дешевого горюче-смазочного сырья, обоснованного анализа и возможного снижения постоянных и переменных затрат на производство и реализацию продукции;

- проводить постоянный финансовый анализ деятельности предприятия с целью оптимизации структуры имущества и источников его формирования, а также соотношения собственных и заемных средств;
- обновить и усовершенствовать материально-техническую базу;
- разработать новые методы планирования и прогноза доходов издержек обращения, прибыли и рентабельности;
- повышать квалификацию работников предприятия.

#### Список литературы

1. Савицкая, Г.В. Анализ хозяйственной деятельности предприятия / Г.В. Савицкая. – 6-е изд., испр. и доп. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 378 с.
2. Учаева, Т.В. Повышение финансовых результатов строительного предприятия / Т.В. Учаева, А.Н. Усатенко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – № 5. – С. 138.
3. Усатенко, А.Н. Резервы повышения прибыли и рентабельности деятельности строительного предприятия / А.Н. Усатенко, Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 3 (28). – С. 182–186.

#### References

1. Savitskaya, G.V. Analysis of economic activity of an enterprise: Textbook / G.V. Savitskaya. – 6 th ed., and ext. – M.: INFRA-M, 2017. – 378 p.
2. Uchaeva, T.V. Improving the financial results of construction companies / T.V. Uchaeva, A.N. Usatenko // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – № 5. – P. 138.
3. Usatenko, A.N. Provisions to increase profits and profitability of activity of a building enterprise / A.N. Usatenko, T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2016. – № 3 (28). – P. 182–186.

*Пензенский государственный университет архитектуры и строительства*  
Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Макарова Людмила Викторовна**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: Mak.78\_08@inbox.ru.

**Тарасов Роман Викторович**,  
кандидат технических наук,  
доцент кафедры «Управление качеством  
и технология строительного производства»  
E-mail: rwtarasow@rambler.ru.

**Майоркина Татьяна Николаевна**,  
студент направления подготовки  
«Стандартизация и метрология»  
E-mail: mayorckina@mail.ru.

*Penza State University of Architecture  
and Construction*  
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Makarova Ludmila Viktorovna**,  
Candidate of Sciences, Associate Professor  
of the department «The quality management  
and technology of structural production»  
E-mail: Mak.78\_08@inbox.ru.

**Tarasov Roman Viktorovich**,  
Candidate Sciences, Associate Professor  
of the department «The quality management  
and technology of structural production»  
E-mail: rwtarasow@rambler.ru.

**Mayorkina Tatyana Nikolaevna**,  
student of the direction of preparation  
«Standardization and metrology»  
E-mail: mayorckina@mail.ru.

## РЕЙТИНГОВАЯ ОЦЕНКА ПОСТАВЩИКА В РАМКАХ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНДУСТРИИ

Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, Т.Н. Майоркина

При создании систем менеджмента качества особое внимание уделяется организации работы с поставщиками. Для создания оптимальных контрактных условий требуется предварительное изучение рынка поставщиков с позиций оценки их возможных конкурентных преимуществ. Предлагается методика рейтинговой оценки поставщиков на основе функционально-стоимостного анализа.

*Ключевые слова: строительные предприятия, система менеджмента качества, создание, поставщик, рейтинговая оценка*

## RATING ASSESSMENT OF THE SUPPLIER WITHIN CREATION OF SYSTEMS OF QUALITY MANAGEMENT AT THE ENTERPRISES OF THE CONSTRUCTION INDUSTRY

L.V. Makarova, R.V. Tarasov, T.N. Mayorkina

During creation of systems of quality management special attention is paid to the organization of work with suppliers. Creation of optimum contract conditions requires preliminary studying of the market of suppliers from positions of an assessment of their possible competitive advantages. The technique of a rating assessment of suppliers on the basis of the functional and cost analysis is offered.

*Keywords: construction enterprises, quality management system, creation, supplier, rating assessment*

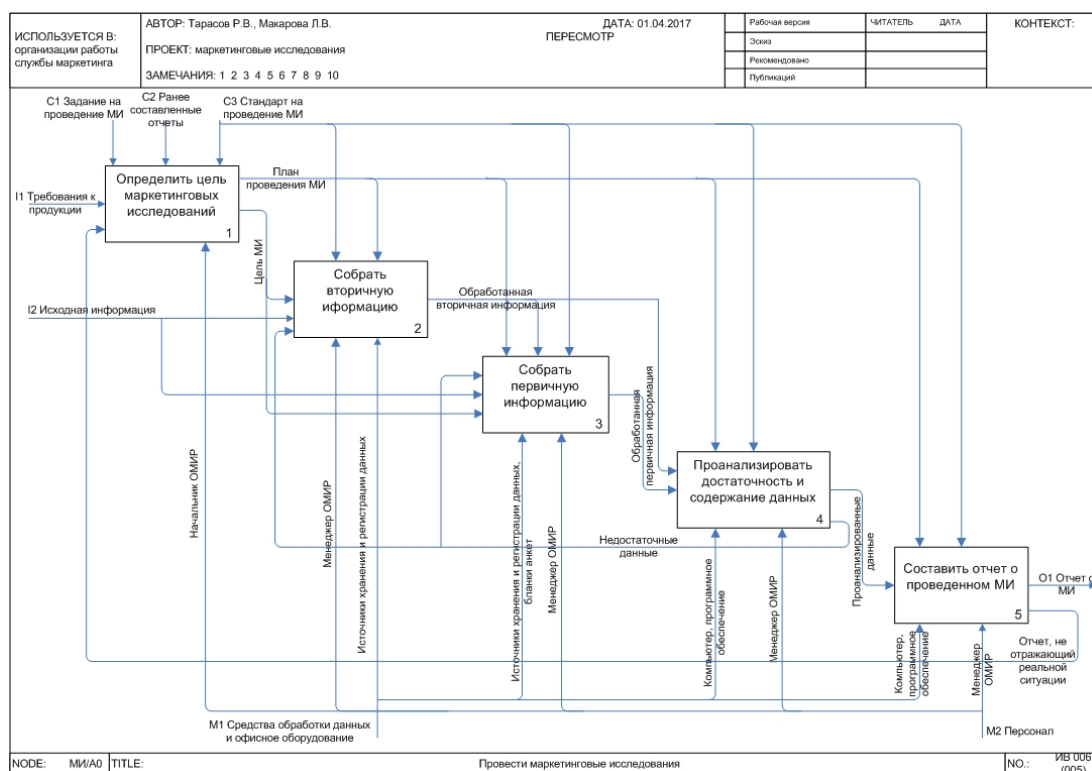
При организации производства основной задачей является формирование взаимовыгодных отношений с поставщиками [1..3]. Требования к процессу закупок, а следовательно, и к процессу оценки поставщика указаны в п. 8.4 ГОСТ Р ИСО 9001–2015 [4]. По результатам работы с поставщиками проводится оценка деятельности по уже заключенным договорам.

В соответствии с принципом процессного подхода СМК каждый из внутренних процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП) должен быть выделен и описан, т.е.

построена его модель [5, 6]. Для каждого процесса устанавливается система его управления с обязательным измерением параметров и характеристик. При этом должны быть определены критерии качества процесса. В рамках каждого процесса следует определить список выполняемых ключевых работ (операций), организовать и вести мониторинг затрат на эти работы и в установленные периоды составлять отчет о затратах на этот процесс.

С целью проведения сопоставительного анализа деятельности поставщиков можно использовать функционально-стоимостный анализ (ФСА) – метод определения стоимости и других характеристик изделий, услуг и потребителей, использующих в качестве основы функции и ресурсы, задействованные в производстве, маркетинге, продаже, доставке, технической поддержке, оказании услуг, обслуживании клиентов, а также обеспечении качества [6].

Анализ рынка с позиции выбора и оценки поставщиков представляет собой одну из приоритетных задач при формировании стратегии развития предприятия. Общая схема маркетинговых исследований представлена на рисунке.



Модель проведения маркетинговых исследований

Использование ФСА при проведении маркетинговых исследований существенным образом повышает достоверность полученных результатов. Методология ФСА позволяет определять наиболее объективный показатель конкурентоспособности продукции – соотношение цены и качества – и сопоставлять его с показателями конкурентов.

Основным критерием совершенства (конкурентоспособности) объекта с позиции ФСА является его потребительская стоимость, определяемая соотношением полезности (качества) и цены.

Рассмотрим процедуру выбора поставщика титановых прутков, предназначенных для производства продукции строительного назначения.

Оценка деятельности поставщиков будет проводиться по следующим характеристикам (табл. 1):

1. Отсрочка поставки (на сколько дней можно отложить поставку продукции).
2. Соответствие продукции требованиям нормативных документов.
3. Наличие скидок (может быть отсутствие скидок, гибкая система скидок и скидка, зависящая от объема заказа).

4. Удобство доставки (срок доставки продукции от поставщика к потребителю).
5. Бесплатная доставка (может предлагаться в зависимости от объема заказа).
6. Коммерческие условия приобретения (наличие готовых изделий на складе, доставка из филиалов, если нет на складе поставщика, изготовление продукции по заказу, если нет в наличии).
7. Упаковка (наличие или отсутствие).
8. Гарантия (срок гарантии, устранение дефектов за счет поставщика).
9. Расстояние от поставщика до потребителя.

Т а б л и ц а 1

## Характеристики поставщиков

| Наименование поставщика | Наименование характеристики             | Значение характеристики  |
|-------------------------|---|--|
| ООО «ТПК «Вариант»      | Отсрочка поставки                       | До 90 дней   |
|                         | Соответствие нормативным документам     | Соответствует  |
|                         | Наличие скидок                          | -  |
|                         | Удобство доставки                       | В течение 5-7 дней   |
|                         | Бесплатная доставка                     | От 150 кг  |
|                         | Коммерческие условия приобретения       | В наличии готовые изделия на складе  |
|                         | Упаковка                                | Есть   |
|                         | Гарантия                                | 3 года, устранение дефектов за счет поставщика   |
|                         | Расстояние от поставщика до потребителя | 680 км   |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»      | Отсрочка поставки                       | -  |
|                         | Соответствие нормативным документам     | Соответствует  |
|                         | Наличие скидок                          | Гибкая система   |
|                         | Удобство доставки                       | В течение 7 дней   |
|                         | Бесплатная доставка                     | От 1000 кг   |
|                         | Коммерческие условия приобретения       | Если в наличии нет нужных прутков, сроки исполнения от 5 рабочих дней, в зависимости от заказа |
|                         | Упаковка                                | По требованию заказчика на складе осуществляется бесплатная упаковка материала                 |
|                         | Гарантия                                | -  |
|                         | Расстояние от поставщика до потребителя | 660 км   |
| ГК «Роспец-сталь»       | Отсрочка поставки                       | -  |
|                         | Соответствие нормативным документам     | Соответствует  |
|                         | Наличие скидок                          | Размер скидки в зависимости от объема заказа   |
|                         | Удобство доставки                       | В течение 7-9 дней   |
|                         | Бесплатная доставка                     | -  |
|                         | Коммерческие условия приобретения       | Если нет на производственном складе, доставка осуществляется из филиала                        |
|                         | Упаковка                                | Экономически выгодная в транспортировке и удобная в складировании                              |
|                         | Гарантия                                | -  |
|                         | Расстояние от поставщика до потребителя | 1400 км – производственный склад<br>860 км – склад филиала                                     |

Распределение стоимости титановых прутков марки ВТ-6 за один килограмм представлено следующими данными:

ООО «ТПК «Вариант» – 1400 руб.;

ООО «МТК «МАЗПРОМ» – 1500 руб.;

ГК «Роспецсталь» – 1300 руб.

Для проведения анализа необходимым условием является оценка значимости каждой из представленных характеристик. С этой целью была проведена процедура экспертного опроса, в которой принимали участие специалисты отдела маркетинговых исследований. Результаты расчета представлены в табл. 2. Результаты сравнительного анализа поставщиков – в табл. 3.

Т а б л и ц а 2

Значения коэффициентов весомости

| Номер          | Наименование характеристики             | $P_{отн}$ |
|----------------|---|-----------|
| X <sub>1</sub> | Отсрочка поставки                       | 0,067     |
| X <sub>2</sub> | Соответствие нормативным документам     | 0,188     |
| X <sub>3</sub> | Наличие скидок                          | 0,076     |
| X <sub>4</sub> | Удобство доставки                       | 0,172     |
| X <sub>5</sub> | Бесплатная доставка                     | 0,092     |
| X <sub>6</sub> | Коммерческие условия приобретения       | 0,166     |
| X <sub>7</sub> | Упаковка                                | 0,038     |
| X <sub>8</sub> | Гарантия                                | 0,118     |
| X <sub>9</sub> | Расстояние от поставщика до потребителя | 0,083     |

Т а б л и ц а 3

Результаты сопоставительного анализа

| Поставщик  | ООО «ТПК «Вариант» | ООО «МТК «МАЗПРОМ» | ГК «Роспецсталь» | a <sub>i</sub> | P <sub>абс</sub> | P <sub>отн</sub> |
|--|--------------------|--------------------|------------------|----------------|------------------|------------------|
| 1  | 2                  | 3                  | 4                | 5              | 6                | 7                |
| Сравнительный анализ по характеристике «Отсрочка поставки»   |                    |                    |                  |                |                  |                  |
| ООО «ТПК «Вариант»   | 1,0                | 1,5                | 1,5              | 4              | 11,5             | 0,45             |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»   | 0,5                | 1,0                | 1,0              | 2,5            | 7                | 0,275            |
| ГК «Роспецсталь»   | 0,5                | 1,0                | 1,0              | 2,5            | 7                | 0,275            |
| Сравнительный анализ по характеристике «Соответствие НД»     |                    |                    |                  |                |                  |                  |
| ООО «ТПК «Вариант»   | 1,0                | 1,0                | 1,0              | 3              | 9                | 0,333            |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»   | 1,0                | 1,0                | 1,0              | 3              | 9                | 0,333            |
| ГК «Роспецсталь»   | 1,0                | 1,0                | 1,0              | 3              | 9                | 0,333            |
| Сравнительный анализ по характеристике «Наличие скидок»      |                    |                    |                  |                |                  |                  |
| ООО «ТПК «Вариант»   | 1,0                | 0,5                | 0,5              | 2              | 5,5              | 0,216            |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»   | 1,5                | 1,0                | 1,0              | 3,5            | 10               | 0,392            |
| ГК «Роспецсталь»   | 1,5                | 1,0                | 1,0              | 3,5            | 10               | 0,392            |
| Сравнительный анализ по характеристике «Удобство доставки»   |                    |                    |                  |                |                  |                  |
| ООО «ТПК «Вариант»   | 1,0                | 1,5                | 1,5              | 4              | 11,5             | 0,46             |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»   | 0,5                | 1,0                | 1,5              | 3              | 8                | 0,32             |
| ГК «Роспецсталь»   | 0,5                | 0,5                | 1,0              | 2              | 5,5              | 0,22             |
| Сравнительный анализ по характеристике «Бесплатная доставка» |                    |                    |                  |                |                  |                  |
| ООО «ТПК «Вариант»   | 1,0                | 1,5                | 1,5              | 4              | 11,5             | 0,46             |
| ООО «МТК «МАЗПРОМ»   | 0,5                | 1,0                | 1,5              | 3              | 8                | 0,32             |
| ГК «Роспецсталь»   | 0,5                | 0,5                | 1,0              | 2              | 5,5              | 0,22             |

| 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6    | 7     |
|---|-----|-----|-----|-----|------|-------|
| Сравнительный анализ по характеристике<br>«Коммерческие условия приобретения»       |     |     |     |     |      |       |
| ООО «ТПК<br>«Вариант»   | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 4   | 11,5 | 0,46  |
| ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ»   | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 2   | 5,5  | 0,22  |
| ГК «Роспецсталь»  | 0,5 | 1,5 | 1,0 | 3   | 8    | 0,32  |
| Сравнительный анализ по характеристике «Упаковка»                                   |     |     |     |     |      |       |
| ООО «ТПК<br>«Вариант»   | 1,0 | 1,5 | 0,5 | 3   | 8    | 0,32  |
| ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ»   | 0,5 | 1,0 | 0,5 | 2   | 5,5  | 0,22  |
| ГК «Роспецсталь»  | 1,5 | 1,5 | 1,0 | 4   | 11,5 | 0,46  |
| Сравнительный анализ по характеристике «Гарантия»                                   |     |     |     |     |      |       |
| ООО «ТПК<br>«Вариант»   | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 4   | 11,5 | 0,45  |
| ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ»   | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 2,5 | 7    | 0,275 |
| ГК «Роспецсталь»  | 0,5 | 1,0 | 1,0 | 2,5 | 7    | 0,275 |
| Сравнительный анализ по характеристике<br>«Расстояние от поставщика до потребителя» |     |     |     |     |      |       |
| ООО «ТПК<br>«Вариант»   | 1,0 | 0,5 | 1,5 | 3   | 8    | 0,32  |
| ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ»   | 1,5 | 1,0 | 1,5 | 4   | 11,5 | 0,46  |
| ГК «Роспецсталь»  | 0,5 | 0,5 | 1,0 | 2   | 5,5  | 0,22  |

Результаты расчета комплексных приоритетов при выборе поставщика представлены в табл. 4.

Т а б л и ц а 4

## Результаты расчета комплексного приоритета

|  | Отсрочка поставки | Соответствие НДС | Наличие скидок | Удобство доставки | Бесплатная доставка | Коммерческие условия приобретения | Упаковка | Гарантия | Расстояние от поставщика до потребителя | Итого |
|--|-------------------|------------------|----------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|----------|----------|---|-------|
| ООО «ТПК «Вариант»                             | 0,45              | 0,333            | 0,216          | 0,46              | 0,46                | 0,46                              | 0,32     | 0,45     | 0,32                                    |       |
| ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ»                          | 0,275             | 0,333            | 0,392          | 0,32              | 0,32                | 0,22                              | 0,22     | 0,275    | 0,46                                    |       |
| ГК «Роспецсталь»                               | 0,275             | 0,333            | 0,392          | 0,22              | 0,22                | 0,32                              | 0,46     | 0,275    | 0,22                                    |       |
| Значимость характеристики                      | 0,067             | 0,188            | 0,076          | 0,172             | 0,092               | 0,166                             | 0,038    | 0,118    | 0,083                                   |       |
| Комплексный приоритет<br>ООО «ТПК «Вариант»    | 0,03              | 0,063            | 0,016          | 0,079             | 0,042               | 0,076                             | 0,012    | 0,053    | 0,027                                   | 0,398 |
| Комплексный приоритет<br>ООО «МТК<br>«МАЗПРОМ» | 0,018             | 0,063            | 0,03           | 0,055             | 0,029               | 0,037                             | 0,008    | 0,033    | 0,038                                   | 0,311 |
| Комплексный приоритет<br>ГК «Роспецсталь»      | 0,018             | 0,063            | 0,03           | 0,038             | 0,02                | 0,053                             | 0,018    | 0,033    | 0,018                                   | 0,291 |

Таким образом, анализ полученных результатов показал, что предпочтительным при рассматриваемых условиях является поставщик ООО «ТПК «Вариант».

При пересчете комплексных приоритетов на единицу стоимости продукции были получены следующие результаты:

ООО «ТПК «Вариант» (г. Москва) –  $28,42 \times 10^{-5}$ ;

ООО «МТК «МАЗПРОМ» (г. Москва) –  $20,73 \times 10^{-5}$ ;

ГК «Росспецсталь» (г. Екатеринбург) –  $22,38 \times 10^{-5}$ .

Несмотря на изменившийся порядок предпочтения, наилучшие условия закупок предлагает поставщик ООО «ТПК «Вариант».

Предлагаемая методика рейтинговой оценки поставщика позволяет организации сформировать стратегию работы с поставщиками с позиции создания условий взаимовыгодных отношений с учетом необходимости обеспечения высокого качества готовой продукции.

### Список литературы

1. Линдерс, Майкл Р. Управление снабжением и запасами / Майкл Р. Линдерс, Харольд Е. Фирон. – СПб.: ООО «Виктория плюс», 2002. – 768 с.
2. Еремина, Е.А. Нечеткая модель выбора поставщика / Е.А. Еремина // Молодой ученый. – 2011. – №11. Т.1. – С. 120–122.
3. Новиков, М.В. Маркетингово-экономическая модель аттестации поставщиков // Корпоративный менеджмент. – URL: [http://www.cfin.ru/management/manufact/allest\\_sup.shtml/](http://www.cfin.ru/management/manufact/allest_sup.shtml/)
4. ГОСТ Р ИСО 9001–2015. Системы менеджмента качества. Требования. – Введ. 2015-11-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 2015. – 32 с.
5. Макарова, Л.В. Управление качеством и повышение конкурентоспособности продукции промышленных предприятий: монография / Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2015. – 192 с.
6. Логанина, В.И. Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности строительной продукции: монография / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 176 с.

### References

1. Linders, Michael R. Management of supply and stocks / Michael R. Linders, Harold E. Fearon. – SPb.: LLC Viktoriya plus, 2002. – 768 p.
2. Eremina, E.A. Indistinct model of the choice of the supplier / E.A. Eremina//Young scientist. – 2011. – No. 11. V.1. – P. 120–122.
3. Novikov, M.V. Marketing and economic model of certification of suppliers //Corporate management. – URL: [http://www.cfin.ru/management/manufact/allest\\_sup.shtml/](http://www.cfin.ru/management/manufact/allest_sup.shtml/)
4. ISO 9001–2015. Quality management system – Requirements (IDT). – 2015-11-01 – М.: IPK Standards Publishing House, 2015. – 32 p.
5. Makarova, L.V. Quality management and increasing the competitiveness of products of industrial enterprises: monograph / L.V. Makarova, R.V. Tarasov. – Penza: PGUAS, 2015. – 192 p.
6. Loganina, V.I. Ensuring quality and increasing the competitiveness of construction products: monograph / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov. – Penza: PGUAS, 2014. – 176 p.



Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Горбунова Валентина Сергеевна**,  
кандидат филологических наук, доцент  
кафедры «Иностранные языки»  
E-mail: VAL-SG@yandex.ru

**Гринцова Ольга Васильевна**,  
кандидат филологических наук, доцент,  
зав. кафедрой «Иностранные языки»  
E-mail: english@pguas.ru

Penza State University of Architecture  
and Construction

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Gorbunova Valentina Sergeevna**,  
Candidate of Philological Sciences, Associate  
Professor of the Department «Foreign  
languages»  
E-mail: VAL-SG@yandex.ru

**Grintsova Olga Vasilyevna**,  
Candidate of Philology, Associate Professor,  
Head of the department «Foreign languages»  
E-mail: english@pguas.ru

## НОМИНАТИВНО-КОГНИТИВНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ СЛОВСОЧЕТАНИЙ С АДЬЮНКТОМ CONCRETE, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СФЕРЕ СТРОИТЕЛЬСТВА

В.С. Горбунова, О.В. Гринцова

Представлены результаты исследования английских словосочетаний с адьюнктом **concrete**. Проведен анализ специальных словосочетаний (СпС), используемых в сфере строительства. Изучено 120 словосочетаний. В результате классификации они разделены на 3 группы в зависимости от особенностей номинации. СпС служат для наименования разнообразных строительных конструкций, машин и процессов, необходимых в строительстве. Представлена специфика номинации и когнитивные основания построения СпС с адьюнктом **concrete**.

*Ключевые слова: номинативно-когнитивный потенциал, адьюнкт, сфера строительства, специальные словосочетания, номинация, когнитивные основания*

## NOMINATIVE-COGNITIVE POTENTIAL OF THE WORD COMBINATIONS WITH THE ADJUNCT «CONCRETE» USED IN THE SPHERE OF CONSTRUCTION

V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova

The article is devoted to the studies of English word combinations with the adjunct **concrete**. Special word combinations (SwC) used during communication in the sphere of construction are analyzed. 120 examples have been chosen and divided into 3 groups depending on peculiarities of nomination, so SwC are used to name various structures, machines and processes in construction. The aspects of nomination as well as cognitive bases of SwC usage are presented.

*Keywords: nominative-cognitive potential, adjunct, construction, special word combination, nomination, cognitive bases*

### Введение

Целью статьи является представление результатов исследования английских специальных словосочетаний (СпС) сферы строительства, в состав которых входит адьюнкт **concrete**.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

1) при изучении материала были отобраны словосочетания, имеющие в своем составе существительные **concrete**, представляющие собой адьюнкты СпС;

2) был проведен компонентный анализ исследуемых СпС на основе когнитивного подхода и с точки зрения современной номинации;

3) исследуемые словосочетания были классифицированы в зависимости от их конкретного использования.

В материале исследования имеются СпС, в состав которых входит существительное *concrete*, используемое как адьюнкт. Такие СпС содержат информацию о строительных конструкциях и сооружениях, о машинах и механизмах, используемых для проведения строительных работ, а также о процессах, необходимых для производства бетона и его применения. Адекватное понимание значения СпС не всегда возможно без наличия специальных знаний. Семантический анализ компонентов таких СпС позволяет уяснить основные принципы их построения.

СпС с адьюнктом **concrete** используются для наименования:

- 1) строительных конструкций и инженерно-технических сооружений;
- 2) строительных машин и специального оборудования;
- 3) процессов, связанных с производством и применением бетона.

### Научно-исследовательская часть

Общее количество исследуемых СпС с адьюнктом *concrete* составляет 120 единиц. СпС, имеющие адьюнкт-существительное *concrete*, составляют три группы наименований в зависимости от семантики выбранного ядерного существительного. Примерами наименований, относящихся к первой группе, являются: *concrete slab бетонная плита*, *glass concrete construction стеклобетонная конструкция*, *prestressed reinforced concrete beam железобетонная предварительно напряженная балка* [1]. Ядерные существительные СпС этой группы представляют собой наименования строительных конструкций и инженерно-технических сооружений. Адьюнкты СпС делают их узкоспециальными наименованиями, используемыми в конкретной сфере деятельности, – строительной индустрии. Каждый такой адьюнкт используется в определенном значении и именуется строительный материал, из которого изготовлена та или иная строительная конструкция или сооружение. Например, *glass concrete construction конструкция, построенная из стеклобетона*. В данном случае адьюнкт *concrete* вместе с адьюнктом *glass* именуется строительный материал стеклобетон в составе конструкции.

Рассмотрим способ кодирования информации с помощью адьюнкта *concrete* в указанных выше словосочетаниях: существительному *construction* предшествует пространственный адьюнкт *concrete*, характеризующий тип строительной конструкции. Оба адьюнкта – и *glass*, и *concrete* – именуют строительные материалы, из которых построено сооружение. В целом значение СпС кодируется по общей схеме: *structure built of concrete*. Таким образом, это СпС сообщает информацию о конструкции: она построена из стекла и бетона. Аналогичным способом построены другие СпС данной группы (*concrete dam, concrete slab, reinforced concrete beam, prestressed reinforced concrete beam*).

Ко второй группе относятся СпС: *concrete bin приёмный бункер для бетонной смеси*, *concrete chute желоб для подачи бетонной смеси, бетонолитный лоток*, *concrete pavement spreader дорожный бетоноукладчик*, *concrete truck бетоновоз* и т.п. В словосочетаниях *concrete bin* и *concrete chute*, а также в других сочетаниях этой группы, адьюнкт *concrete* имеет иной смысл – он указывает на назначение специального устройства. В данном случае информация кодируется по схеме: *machine used for concrete work*. СпС *concrete bin* означает то, что бункер предназначен для приема бетонной смеси.

Только профессионал знает о том, что бункер и желоб не сделаны из бетона, а предназначены для приема и подачи бетонной смеси. При наименовании специальных машин также используется адьюнкт *concrete*. Он указывает на вид работ, производимых с помощью этих машин. Так, профессионалу известно, что *concrete pavement spreader* – это *машина для укладки бетона на дорогах*; *concrete truck* – *грузовик, предназначенный для перевозки бетона* [2]. Ядерные существительные этой группы именуют строительные машины и специальное оборудование.

Примерами наименований процессов, связанных с производством и применением бетона, представленных в третьей группе, являются следующие: concrete shrinkage *усадка бетона*; concrete placement *укладка бетонной смеси, бетонирование*; concrete patching *ямочный ремонт* (бетонного покрытия) [3] и т.п. СпС этой группы подразделяются на два вида – наименования процесса, необходимого для получения бетона: “process, necessary for concrete making” и наименования процесса, необходимого для выполнения различных строительных работ: “process necessary for construction work”. При определении когнитивных оснований построения СпС было выявлено, что СпС concrete curing и concrete shrinkage образованы по схеме: process, necessary for concrete making. Адьюнкт именуется строительный материал бетон, а ядерное существительное – тип процесса.

СпС с адьюнктом concrete строятся в зависимости от кодируемой ими информации. В таблице представлены способы классификации СпС с адьюнктом concrete. Даются схемы кодирования информации и примеры словосочетаний.

#### КЛАССИФИКАЦИЯ СПС С АДЬЮНКТОМ CONCRETE

| № п/п | Виды наименований  | Общие схемы кодирования информации       | Примеры СпС        |
|-------|--|--|--------------------|
| 1     | Наименования строительных конструкций и инженерно-технических сооружений | structure built of concrete              | concrete structure |
| 2     | Наименование строительных машин и специального оборудования              | machine used for concrete delivering     | concrete truck     |
| 3     | Наименования процессов, связанных с производством и применением бетона   | process, necessary for concrete making   | concrete curing    |
|       |  | process, necessary for construction work | concrete placement |

СпС, состоящие из трех и более компонентов, также могут иметь в своем составе адьюнкт concrete. В таких СпС адьюнкты чаще всего передают различные характеристики. Например, рассмотрим СпС concrete mixing plant *бетонный завод*. В этом СпС адьюнкт concrete именуется строительный материал, а адьюнкт mixing указывает на назначение завода. Это СпС именуется завод и указывает на вид работ, производимых на нем: завод, где производится изготовление бетонной смеси. В СпС concrete radiation shield *бетонный противорадиационный экран*, адьюнкт concrete именуется строительный материал бетон, а адьюнкт radiation указывает на назначение специального экрана, который из этого материала изготовлен. Это СпС передает информацию о том, что существует специальный экран, изготовленный из бетона, и он предназначен для защиты от радиации.

СпС loadbearing concrete block walls [4,5] состоит из четырех компонентов. Анализ каждого из них дает возможность дешифровать информацию, закодированную таким способом. Первый адьюнкт block является распространенным (concrete block) и имеет значение: конструкция, состоящая из бетона, – бетонный блок. Адьюнкт loadbearing характеризует ядерное существительное по его назначению: стены, несущие нагрузку. Таким образом, все СпС в целом передает информацию о назначении стен и о составляющих их конструкциях и переводится: несущие стены из бетонных блоков.

СпС external split block concrete walling состоит из пяти компонентов. Первый адьюнкт именуется строительный материал, из которого состоят стены. Второй адьюнкт является распространенным. Он информирует о типе конструкции (block) и о ее форме (split). Четвертый адьюнкт external именуется признак “локализация” и указывает на месторасположение стен. Таким образом, все это СпС содержит информацию о том, из какого строительного материала изготовлены стены и из каких по своей форме конструкций они состоят, где эти стены располагаются. Сделав такой анализ, можно

определить, что это сложное по своему составу СпС переводится так: наружные бетонные стены, состоящие из отдельных блоков.

СпС *dense concrete block cavity walls*, именуемое другой тип стен, также состоит из пяти компонентов. Первый адьюнкт указывает на структуру стен – пустотелые (*cavity*). Второй адьюнкт является распространенным и именуется тип конструкции, построенной из бетона, – бетонный блок (*concrete block*). Четвертый адьюнкт содержит дополнительную информацию о структуре блоков – плотные по своему составу (*dense*). Проведенный когнитивный анализ показывает, что все СпС передает информацию о структуре стен и типе конструкций, из которых они состоят. Анализируемое СпС переводится: пустотелые стены из плотных бетонных блоков. Итак, при анализе СпС большой длины можно наблюдать явление компрессии информации. Такие СпС передают одновременно информацию нескольких видов.

Анализ многокомпонентных СпС затруднен, поскольку каждый компонент, имея свое конкретное значение, определяет ядерное существительное, придавая всему СпС определенный смысл, понять который можно только при наличии контекста. Многокомпонентные СпС могут передавать большое количество информации, декодировать которую можно только при наличии специальных знаний. При выполнении анализа следует использовать отраслевые словари и специальные справочники.

### Выводы

Итак, СпС, имеющие адьюнкт-существительное **concrete**, разнообразны по своему составу и по передаваемой ими информации. Они используются главным образом для наименования артефактов – предметов, применяемых в отрасли строительного производства, т.е. строительных конструкций и машин. Кроме того, они могут именовать процессы, необходимые при проведении строительных работ и для производства бетона. Наименования предметов-артефактов, в состав которых входит адьюнкт *concrete*, преобладают над наименованиями процессов с тем же адьюнктом в соотношении 6:1. Адьюнкт **concrete** придает всему СпС узко специальное конкретное значение. Многокомпонентные СпС содержат информацию различных видов. Например, о месте расположения конструкции, ее назначении, составе, структуре. Каждый составляющий их компонент характеризует определенным способом предметы или процессы, используемые в строительной индустрии.

Специальные словосочетания с адьюнктом **concrete** соотносятся с фрагментами реальной действительности сферы строительного производства и соответствуют конкретной картине мира, характеризующей промышленное и гражданское строительство. Они знакомят с теми фрагментами картины мира строительной отрасли, где речь идет о работе строительных машин, о производственных процессах, связанных с получением и применением бетона, о способах строительства различных конструкций и инженерно-технических сооружений.

При рассмотрении схем построения словосочетаний с адьюнктом **concrete** и проведении когнитивного анализа были выявлены способы наречения предметов и процессов с помощью устоявшихся в английском языке словосочетаний. В соответствии с этими схемами могут быть построены и другие СпС, именуемые новые строительные конструкции, машины и процессы, связанные с производством и применением бетона. Подбор необходимых компонентов позволяет построить новое наименование по заданной схеме.

### Список литературы

1. Горбунова, В.С. Способы кодификации информации в текстах строительного профиля / В.С. Горбунова, О.В. Гринцова, Н.А. Кузьева // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2016. – №1 (2).
2. Горбунова, В.С. Способы наименования бетонов различных типов / В.С. Горбунова, О.В. Гринцова // Региональная архитектура и строительство. – Пенза: ПГУАС, 2016.

3. Горбунова, В.С. Номинативно-когнитивный потенциал словосочетаний с ключевым словом *heating* / В.С. Горбунова, О.В. Гринцова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – №1 (4). – С.66–72.

4. Горбунова, В.С. Специальные словосочетания английского языка в текстах строительного профиля: номинативно-когнитивный потенциал: дис. ... канд. филол. наук / В.С. Горбунова. – М.: МГЛУ. – 214 с. – URL: [www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930](http://www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930) (дата обращения: 15.09.2016)

5. Горбунова В.С., О.В. Гринцова. Специальные словосочетания английского языка с ключевым словом *ventilation* как средство номинации в сфере строительного производства / В.С. Горбунова, О.В. Гринцова // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – №1 (4). – С. 62–66.

#### References

1. Gorbunova, V.S. Codification of information in the field of construction / V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova, N.A. Kuzyaeva // Bulletin PGUAS : construction, science and education. – 2016. – №1 (2).

2. Gorbunova, V.S. Ways of concretes naming / V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova // Regional architecture and engineering. – Penza: PGUAS, 2016.

3. Gorbunova, V.S. Nominative-cognitive potential of the word combinations with the key words “heating” / V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova // Bulletin PGUAS: construction, science and education. – 2017. – №1 (4). – P. 66–72.

4. Gorbunova, V.S. Special word combinations of the English language in construction sphere texts: nominative-cognitive potential: dis. ... candidate. philol. sciences / V.S. Gorbunova. – М.: MGLU. – 214 p. – URL: [www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930](http://www.disertant.ru/index.php?cat=10&st=3930) (date of use 15.09.2016)

5. Gorbunova, V.S. Special word combinations of the English language with the key word “ventilation” as means of nomination in the sphere of construction / V.S. Gorbunova, O.V. Grintsova // Bulletin PGUAS : construction, science and education. – 2017. – №1 (4). – P. 62–66.

Пензенский государственный университет  
архитектуры и строительства

Россия, 440028, г. Пенза,  
ул. Германа Титова, д.28,  
тел.: (8412) 48-27-37; факс: (8421) 48-74-77

**Учаева Татьяна Владимировна**,  
кандидат экономических наук  
доцент кафедры «Экономика, организация  
и управление производством»  
E-mail: uchaevatv@mail.ru

*Penza State University of Architecture  
and Construction*

Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,  
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

**Uchaeva Tatiana Vladimirovna**,  
Candidate of Economics, Associate Professor  
of the department «Economics, Organization  
and Management»  
E-mail: uchaevatv@mail.ru

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ БЮДЖЕТНЫМИ СРЕДСТВАМИ В РАМКАХ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ, ОРИЕНТИРОВАННОГО НА РЕЗУЛЬТАТ

Т.В. Учаева

Эффективно используемые оборотные фонды являются важным критерием в стабильном функционировании субъекта хозяйствования. Это может быть достигнуто при рациональном расходовании средств, имеющихся у предприятия. Если оборотные активы используются экономично, то высвобождающиеся при этом ресурсы способствуют финансовому укреплению субъекта хозяйствования.

*Ключевые слова: оборотные средства, бюджетное учреждение, бюджетные средства, управление оборотными средствами, бюджетирование, ориентированное на результат, аутсорсинг*

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF BUDGET MANAGEMENT, IN THE FRAMEWORK OF THE BUDGETING FOCUSED ON RESULT

T.V. Uchaeva

Effectively used revolving funds are an important criterion for the stable functioning of a business entity. This can be achieved through rational expenditure of funds available to the company. If current assets are used economically, freed up the resources contribute to a financial strengthening of the entity.

*Keywords: budgetary institution, budgetary funds, working capital management, budgeting, result-oriented outsourcing*

Эффективность хозяйственной деятельности зависит от обеспеченности предприятия оборотными средствами, их структуры и эффективности использования. Оборотный капитал становится главным резервом высвобождения из оборота денежных средств, формируя свободный для инвестирования источник наиболее ликвидных активов.

В рамках данной статьи рассматривается эффективность использования оборотного капитала бюджетного учреждения ФКЗ «Исправительная колония № 11 Управления Федеральной службы исполнения наказаний по Республике Мордовия». Как показал проведённый анализ оборотных средств [1, 2] данного учреждения, финансирование деятельности происходит в условиях бюджетного дефицита, следовательно, учреждению необходимо искать пути снижения расходов.

Одним из путей совершенствования является бюджетирование, ориентированное на результат (БОР). Его также нередко рассматривают как программно-целевой метод финансирования государственных расходов, выступающий в качестве альтернативы сметному бюджетированию.

Ключевые характеристики бюджетирования, ориентированного на результат, отображены на рисунке.



Характеристики бюджетирования, ориентированного на результат

Бюджетирование, ориентированное на результат, предусматривает широкий круг полномочий непосредственных распорядителей средств бюджета, в том числе:

- перераспределение бюджетных средств по ходу исполнения целевых программ между отдельными статьями расходов, а иногда и между программами;
- в случае усмотрения целесообразности изменения сроков реализации программ – перераспределение бюджетных средств между финансовыми годами;
- сохранение за учреждением средств, которые удалось сэкономить в результате повышения эффективности, и их использование в интересах конкретного учреждения, в том числе на стимулирование его персонала в соответствии с измененной и вновь утвержденной бюджетной сметой.

Результативность использования бюджета при осуществлении БОР оценивается по жизненно важным критериям: в первую очередь это социальная и экономическая эффективность.

Так, социальная эффективность возрастает, если при предоставлении государственных услуг того же объема и качества достигнут наибольший эффект.

Для определения экономической эффективности целевой программы необходимо рассчитать соотношение полученной экономической выгоды и затрат, понесенных при ее реализации.

Для повышения эффективности управления финансами и сокращения расходования бюджетных средств в рамках БОР в ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия» необходимо принять следующие меры:

- внедрение аутсорсинга приведет к экономии бюджетных средств, своевременному и качественному выполнению функций;
- разработка бюджета в программном формате повысит качество планирования доходов и расходов.

Внедрение в ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия» аутсорсинга предполагает выведение определенных видов деятельности за рамки учреждения на основе передачи их исполнения немunicipальным поставщикам на основе контрактов.

Потенциально возможна передача на аутсорсинг (путем проведения конкурсов) непрофильных видов деятельности ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия», таких, как:

- уборка территорий;
- комплексное обслуживание здания ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия»;
- транспортные услуги.

Далее перейдем к оценке эффективности предложенных мероприятий. Проанализируем, насколько эффективна передача услуг на аутсорсинг (табл. 1).

## Затраты на аутсорсинг

| Услуга                          | Возможная стоимость на условиях аутсорсинга, тыс. руб. | Затраты ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия» в год, тыс. руб. | Прогнозный эффект от аутсорсинга (затраты учреждения – возможная стоимость) |
|---------------------------------|--|---|---|
| Уборка территорий               | 625  | 485,3   | -139,7  |
| Комплексное обслуживание здания | 668  | 1247,3  | 579,3   |
| Транспортные услуги             | 2130   | 3214  | 1084  |

Итак, мы видим, что выведение на аутсорсинг такой услуги, как уборка, невыгодно – за счет этого будет получен убыток в размере 139,7 тыс. руб. Следовательно, выводить данную услугу на аутсорсинг не рекомендуется.

Экономическая выгода от выведения обслуживания здания и транспортной службы на аутсорсинг составит 1663,3 тыс. рублей в год.

Но в результате сокращения штата сотрудникам необходимо оплатить компенсацию за 3 месяца, что составит 25 % от годовых затрат на содержание персонала:  $(1247,3+3214)*0,25=1115,3$  тыс. руб.

Экономический эффект в первый год составит  $1663,3 - 1115,3=548$  тыс. руб.

В результате аутсорсинга затраты на оплату труда сократятся, но при этом увеличатся расходы на приобретение работ, услуг.

Проанализируем риски передачи услуг на аутсорсинг. Возможности: предоставление качественных услуг; оптимизация штата; отсутствие издержек на повышение уровня квалификации (обучение) бухгалтеров, а также на улучшение условий труда (на современное техническое оборудование); переложение рисков, связанных с бухгалтерской деятельностью, на аутсорсера. Риски: банкротство фирмы-аутсорсера; отсутствие рынка аутсорсеров (бухгалтеров бюджетной сферы); отсутствие проработанной нормативной базы; невыполнение условий договора.

С одной стороны, учитывая все преимущества и риски, перевод бухгалтеров на аутсорсинг выгоден, так как при этом происходит большая экономия на издержках содержания данного отдела. Более того, повышается качество оказываемой услуги, и риски по ведению учета перекладываются на аутсорсера.

С другой стороны, существует такое значительное препятствие, как отсутствие рынка бухгалтеров бюджетной сферы. Это связано с тем, что в основном существуют фирмы, предоставляющие услуги только по ведению коммерческого учета.

Для введения аутсорсинга в практику ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия» необходимо:

- разработать и утвердить порядок оценки целесообразности передачи на аутсорсинг исполнения отдельных административно-управленческих процессов и порядок проведения мониторинга административно-управленческих процессов, исполнение которых передано на аутсорсинг;

- осуществить передачу отдельных административно-управленческих процессов внешним поставщикам посредством размещения муниципального заказа в установленном для осуществления муниципальных закупок порядке.

За счет сокращения затрат могут быть высвобождены денежные средства.

С учетом предложенных мероприятий выполним прогноз состава оборотных средств на основе среднего темпа роста (табл. 2).

В результате предложенных мероприятий у учреждения появляются собственные денежные средства, которые можно направить на укрепление материально-технической базы.

Выполним прогноз доходов учреждения (табл. 3).



Состав оборотных средств ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия» в прогнозном периоде, тыс. руб.

| Показатель                    | 2015 г. | Прогнозный период | Динамика |
|-------------------------------|---------|-------------------|----------|
| Материальные запасы           | 2172    | 2142              | -30      |
| Денежные средства             | 21      | 839               | +819,7   |
| Расчеты по доходам            | -       | -                 |          |
| Расчеты с подотчетными лицами | -       | -                 |          |
| Итого                         | 2193    | 2981              | +788     |

Т а б л и ц а 3

Анализ эффективности использования оборотных средств ФКУ «Исправительная колония № 11 УФСИН по Республике Мордовия»

| Показатель  | 2015 г. | Прогнозный период | Динамика |
|---|---------|-------------------|----------|
| Доходы от оказания платных услуг, тыс. руб.             | 1779    | 2325              | 546      |
| Оборотные средства, тыс. руб.                           | 2193    | 2587              | 394      |
| Коэффициент оборачиваемости оборотных средств, оборотов | 0,811   | 0,899             | 0,088    |
| Оборачиваемость оборотных средств, дней                 | 443,8   | 400,4             | -43,4    |

В отчётном году доходы учреждения составили 1779 тыс. руб. ( $y_n$ ), в 2013 г. – 1042 тыс. руб. ( $y_0$ ).

$$D = \sqrt[n-1]{\frac{y_n}{y_0}} = \sqrt[3-1]{\frac{1779}{1042}} * 1779 = 2325 \text{ тыс. руб.}$$

Среднегодовая величина оборотных средств составит  $(2981+2193)/2=2587$  тыс. руб.

В результате предложенных мероприятий прогнозируется увеличение оборачиваемости оборотных средств, что повлечет за собой снижение периода их оборота.

Таким образом, передача некоторых видов деятельности бюджетного учреждения на аутсорсинг в рамках бюджетирования, ориентированного на результат, позволит эффективно использовать бюджетные средства, обеспечить внедрение новых технологий, более эффективно контролировать издержки деятельности, повысить качество услуг, сократить капитальные затраты.

#### Список литературы

1. Учаева, Т.В. Значение анализа и оценки оборотных средств в повышении эффективности деятельности строительного предприятия / Т.В. Учаева, А.Н. Усатенко // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2016. – №4. – С.114–122.
2. Учаева, Т.В. Эффективное использование оборотного капитала как фактор улучшения финансово-хозяйственной деятельности предприятия промышленности строительных материалов / Т.В. Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.185–192.

#### References

1. Uchaeva, T.V. Value analysis and evaluation of current assets to increase the efficiency of the building enterprise / T.V. Uchaeva, A.N. Usatenko // Education and science in the modern world. Innovation. – 2016. – №4. – P.114–122.
2. Uchaeva, T.V. Effective use of working capital as a factor of improvement of financial-economic activity of enterprises of construction materials industry / T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2017. – No. 1. – P.185–192.