

АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО

2014 №3(20)

РЕМОНТАРНАЯ

Редакционный совет

Е.А. Ахмедова, чл.-кор. РААСН, д-р архитектуры, проф. (Самара)
Ю.М. Баженов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
И.А. Гарькина, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
А.М. Данилов, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
В.Т. Ерофеев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)
Н.И. Карпенко, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
Е.В. Королев, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
В.С. Лесовик, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Белгород)
В.Л. Мондрус, д-р техн. наук, проф. (Москва)
В.В. Петров, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саратов)
В.И. Римшин, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
В.П. Селяев, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)
В.Н. Семенов, д-р экон. наук, проф. (Воронеж)
Ю.П. Скачков, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
А.М. Сулейманов, д-р техн. наук, проф. (Казань)
В.И. Травуш, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
С.В. Федосов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Иваново)
В.Д. Черкасов, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)
Е.М. Чернышов, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Воронеж)

Редакционная коллегия

И.А. Гарькина, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
О.В. Гринцова, канд. филол. наук, доцент (Пенза)
Б.М. Гришин, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
А.М. Данилов, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
В.Т. Ерофеев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)
В.И. Калашников, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Пенза)
Е.В. Королев, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Москва)
Е.Г. Лапшина, канд. архитектуры, проф. (Пенза)
Б.М. Люпаев, д-р техн. наук, проф. (Саранск)
И.Г. Овчинников, советник РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саратов)
В.П. Селяев, академик РААСН, д-р техн. наук, проф. (Саранск)

**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,
В.С. Кулакова,
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 10.09.2014.

Формат 60x84 1/8.

Уч.-изд.л. 22,25. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 350.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

**РЕГИОНАЛЬНАЯ
АРХИТЕКТУРА
И СТРОИТЕЛЬСТВО**
3(20)/2014

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ 5

**Ерофеев В.Т., Мышкин А.В., Каблов Е.Н.,
Старцев О.В., Смирнов В.Ф., Смирнова О.Н.**
СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ
НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ
СМОЛЫ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО
МОРСКОГО КЛИМАТА 5

Селяев В.П., Неверов В.А., Куприяшкина Л.И.
РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ И
РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД
АТЯШЕВСКОГО И ТАТАРСКО-
ШАТРАШАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ
СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ 13

**Черкасов В.Д., Юркин Ю.В., Авдонин В.В.,
Аникина Н.С.**
ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ 19

Логанина В.И., Рыжов А.Д., Жирновский И.В.
СТРУКТУРА И СВОЙСТВА
СИНТЕЗИРОВАННОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ
АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ
СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ..... 25

**Максимова И.Н., Макридин Н.И., Скачков
Ю.П., Тамбовцева Е.А.**
КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ
СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ
РАЗНОГО ВОЗРАСТА..... 29

Максимова И.Н., Макридин Н.И., Суров И.А.
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО
ПОВЕДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ .. 37

Логанина В.И., Тарасов Р.В., Макарова Л.В.
ПРОЦЕДУРА АУДИТА ПОСТАВЩИКА С
УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО
СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ..... 42

Ерошкина Н.А., Коровкин М.О.
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА
ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ
МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД..... 47

© Авторы публикаций, 2014

© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2014

© ПГУАС, 2014

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ	52	Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н. СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ	109
Селяев В.П., Лазарев А.Л., Цыганов В.В. РАБОТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ ПОЛИМЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ	52	Кошев А.Н., Варенцов В.К., Кошева Н.В., Поддорогин Р.Н. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ РЕЖИМА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ НА ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ	114
Снежкина О.В., Егинов Э.В., Ладин Р.А. ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ХОМУТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ	57	Кузина В.В., Кошев А.Н. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАКЕТОВ	120
Гучкин И.С., Зорин А.Н., Шишкин С.О. СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОДАВЛИВАНИЮ ФУНДАМЕНТА СБОРНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ	62	Шалапко Ю.И., Камбург В.Г., Агафонкина Н.В. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ ТРЕНИЯ В МЕХАНИКЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ...	124
Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ КРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ КРУЧЕНИИ	66	Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Исаева А.М., Петрунин А.А. КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД БЕЗИНЕРЦИОННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ	131
Нежданов К.К., Артюшин Д.В. НОВЫЙ ВИД ВИНТОВОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ	71		
ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ	75	АРХИТЕКТУРА	137
Полубояринов П.А., Андреев С.Ю., Гарькина И.А., Давыдов Г.П. ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОМАССЫ ХЛОРЕЛЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПРОЦЕССАХ ЕСТЕСТВЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД	75	Азатян К.Р., Енгоян А.Р. АРХИТЕКТУРА ЦЕНТРА ЕРЕВАНА В ПРОШЛОМ И В НАСТОЯЩЕМ	137
Кошев А.Н., Варенцов В.К., Сухов И.Ф. РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ	82	Белов А.Ю., Лапшина Е.Г. ОСОБЕННОСТИ РУССКОГО ЦЕРКОВНОГО ЗОДЧЕСТВА В АРХИТЕКТУРЕ СОВЕТСКОГО МОДЕРНИЗМА	145
Рымаров А.Г., Ботнарь М.И. ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА В ПЕРИОД АКТИВНОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА С ПОЗИЦИИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ	87	Липуга Р.Н. АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ	154
Орлов Н.А., Власов А.А., Чушкина Ж.А. ДИНАМИКА ОЧЕРЕДИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕД РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ	92	Кутай Е.П. ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ	161
Аверкин А.Г., Еремкин А.И., Родионов Ю.В., Аверкин Ю.А. УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО СОРБЕНТА	97	ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ	166
Данилов А.М., Гарькина И.А., Гарькин И.Н. УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ И СТРУКТУРНОЙ СХЕМ	102	Хрусталева Б.Б., Учаева Т.В. ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ	166
		Домке Э.Р., Жесткова С.А. ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ	172

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Snezhkina O.V., Eginov E.V., Ladin R.A. ASSESSMENT OF VERTICAL CLAMP ON THE STRENGTH OF CONCRETE BEAMS UNDER THE INFLUENCE OF SHEAR FORCES	57
Yerofeev V.T., Myshkin A.V., Kablov E.N., Startcev O.V., Smirnov V. F., Smirnova O.N. FIRMNESS OF POLYMERIC AGGREGATES ON THE BASIS OF POLYESTERACRYLATE RESIN IN CONDITIONS OF HUMID SEA CLIMATE.....	5	Guchkin I.S., Zorin A.N., Shishkin S.O. RESISTANCE TO PRESSING OF FOUNDATION TO REINFORCED CONCRETE COLUMN.....	62
Selyaev V.P., Neverov V.A., Kupriyashkina L.I. X-RAY STRUCTURAL AND SPECTRAL RESEARCH OF ZEOLITE-CONTAINING ROCKS OF ATYASHEVSKY AND TATAR-SHATRASHANSK FIELDS IN MIDDLE VOLGA REGION.....	13	Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Garkin I.N. METHOD OF INCREASING THE INERTIA MOMENTS OF CRANE RAIL AT TORSIONAL.....	66
Cherkasov V.D., Yurkin Y.V., Avdonin V.V., Anikina N.S. VIBRATION DAMPING MATERIALS OF SHEET TYPE	19	Nezhdanov K.K., Artyushin D.V. A NEW KIND OF HOT ROLLED SPIRAL ARMATURE FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES.....	71
Loganina V.I., Ryzhov A.D., Zhernovsky I.V. STRUCTURE AND PROPERTIES OF SYNTHETIC ADDITIVE BASED ON AMORPHOUS SILICA-ALUMINA FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES	25	ENGINEERING SYSTEMS.....	75
Maksimova I.N., Makridin N.I., Skashkov Yu.P., Tambovzeva E.A. INTEGRATED EVALUATION OF MODIFIED STRUCTURE MECHANICS OF CEMENT STONE OF DIFFERENT AGE.....	29	Poluboyarinov P.A., Andreev S.Yu., Garkina I.A., Davydov G.P. ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION OF CHLORELLA BIOMASS USED IN PROCESSES OF NATURAL BIOLOGICAL TREATMENT OF SEWAGE	75
Maksimova I.N., Makridin N.I., Surov I.A. METHODOLOGICAL ASPECTS OF FORECASTING OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CEMENT COMPOSITES....	37	Koshev A.N., Varentsov V.K., Sukhov I.F. CALCULATION OF PROCESSES IN FLOWING THREE-DIMENSIONAL ELECTRODE.....	82
Loganina V.I., Tarasov R.V., Makarova L.V. SUPPLIER AUDIT PROCEDURES WITH REGARD TO RAW MATERIALS INFLUENCE ON THE QUALITY OF CONSTRUCTION PRODUCTION	42	Rymarov A.G., Botnar M.I. THE TEMPERATURE OF EXTERNAL AIR IN THE PERIOD OF ACTIVE COOLING DURING THE COLD PERIOD OF THE YEAR FROM THE POSITION OF THE HEAT CONSUMPTION OF THE BUILDING	87
Eroshkina N.A., Korovkin M.O. THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF GEOPOLYMER BINDER BASED ON MAGMATIC ROCKS	47	Orlov N.A., Vlasov A.A., Chushkina Zh.A. DYNAMICS OF TRAFFIC BEFORE ADJUSTABLE INTERSECTION	92
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	52	Averkin A.G., Eremkin A.I., Rodionov Y.V., Averkin Y.A. DISPOSAL OF LOW-GRADE HEAT IN HVAC SYSTEMS ON THE BASIS OF SOLID SORBENT	97
Selyaev V.P., Lazarev A.L., Tsyganov V.V. THE BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES RUGGEDIZED WITH POLIMERMETALL COATING.....	52	Danilov A.M., Garkina I.A., Garkin I.N. CONTROL OF OBJECTS ON A MOVABLE BASE: CONSTRUCTIVE AND BLOCK DIAGRAM OPTIMIZATION.....	102

Danilov A.M., Garkina I.A., Garkin I.N. SPECTRAL METHODS IN THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEMS 109	Belov A.Yu., Lapshina E.G. RUSSIAN TRADITIONS OF CHURCH ARCHITECTURE IN ARCHITECTURE OF SOVIET MODERNISM..... 145
Koshev A.N., Varentsov V.K., Kosheva N.V., Poddorogin R.N. MATHEMATICAL DESCRIPTION AND CALCULATION OF THE MODE OF CIRCULATING SUPPLY OF ELECTROLYTE AT ELECTROLYSIS ON THE FLOWING THREE-DIMENSIONAL ELECTRODE 114	Lipuga R.N. THE ANALYSIS OF FOREIGN AND UKRAINIAN EXPERIENCE OF ORTHODOX CHURCHES CONSTRUCTION 154
Kuzina V.V., Koshev A.N. MATHEMATICAL MODELLING AND CALCULATION THE PROCESSES OF IMPURITY TRANSFER IN WATER ENVIRONMENT WITH THE USE OF MATHEMATICAL PACKAGES 120	Kutay E.P. CONTINUITY OF URBAN PLANNING 161
Shalapko Y.I., Kamburg V.G., Agafonkina N.V. PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF FRICTION COMPONENTS IN CONTACT MECHANICS 124	ECONOMICS AND MANAGEMENT.. 166
Andreev S.Yu., Garkina I.A., Isaeva A.M., Petrunin A.A. KINETIC REGULARITIES OF RADIANT DISPERSED PARTICLES FLOTATION PROCESS FROM SEWAGE 131	Khrustalev B.B., Uchaeva T.V. EVALUATION OF THE INSTITUTIONAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF CONSTRUCTION MATERIALS INDUSTRY ENTERPRISES ON THE EXAMPLE OF THE PENZA REGION 166
ARCHITECTURE.....137	Domke E.R., Zhestkova S.A. OPTIMIZATION OF ROUTES IN THE TRANSPORTATION OF CONSTRUCTION MATERIALS BY ROAD TRANSPORT 172
Azatyanyan K.R., Yengoyan A.R. THE ARCHITECTURE OF THE CENTER OF YEREVAN IN THE PAST AND PRESENT 137	

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 621.763:551.35.054

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

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

Ерофеев Владимир Трофимович,
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РААСН
E-mail: pgs@mrsu.ru

Мышкин Антон Владимирович,
аспирант кафедры «Строительные
материалы и технологии»
E-mail: antonym@pisem.net

*Всероссийский научно-исследовательский
институт авиационных материалов*

Россия, 105005, Москва, ул. Радио, д.17
тел.: +7(499)261-86-77, +7(499)267-21-09
факс: +7(499)267-86-09

Каблов Евгений Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН

Старцев Олег Владимирович,
доктор технических наук, профессор
E-mail: startcevov@gmail.com

*Нижегородский государственный
университет им. Н.И. Лобачевского*

Россия, 603950, г. Нижний Новгород,
пр. Гагарина, 23
тел.: 462-30-90, факс.: 462-30-85

Смирнов Василий Филиппович,
доктор биологических наук, профессор
E-mail: biodeg@mail.ru

Смирнова Ольга Николаевна,
кандидат биологических наук, доцент
E-mail: biodeg@mail.ru

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

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

Yerofeev Vladimir Trofymovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Building materials and
technologies»
E-mail: pgs@mrsu.ru

Myshkin Anton Vladimirovich,
Postgraduate of the department «Building
materials and technologies»
E-mail: antonym@pisem.net

Research institute of aviation materials

Russia, 105005, Moscow, 17, Radio St.,
tel.: +7(499)261-86-77, +7(499)267-21-09
fax: +7(499)267-86-09

Kablov Evgeny Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Academician of
the Russian Academy of Sciences

Startcev Oleg Vladimirovich,
Doctor of Sciences, Professor
E-mail: startcevov@gmail.com

*Nizhny Novgorod state university
after N.I. Lobachevsky*

Russia, 603950, Nizhny Novgorod,
23, prospect Gagarina,
tel.: 462-30-90, fax: 462-30-85

Smirnov Vasily Filippovich,
Doctor of Biological Sciences, Professor
E-mail: biodeg@mail.ru

Smirnova Olga Nikolaevna,
Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor
E-mail: biodeg@mail.ru

СТОЙКОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ПОЛИЭФИРАКРИЛАТНОЙ СМОЛЫ В УСЛОВИЯХ ВЛАЖНОГО МОРСКОГО КЛИМАТА

В.Т. Ерофеев, А.В. Мышкин, Е.Н. Каблов, О.В. Старцев,
В.Ф. Смирнов, О.Н. Смирнова

Представлены результаты изучения климатостойкости полиэфиракрилатных композиций при эксплуатации в условиях Черноморского побережья. Экспериментально показано изменение физико-механических свойств полиэфиракрилатных композитов в условиях воздействия повышенной влажности, ультрафиолетового облучения и морской воды. Выявлены составы, наиболее стойкие к воздействию климата Черноморского побережья.

Ключевые слова: полимерная композиция, климатическое воздействие, полиэфиракрилатная смола, стойкость

FIRMNESS OF POLYMERIC AGGREGATES ON THE BASIS OF POLYESTERACRYLATE RESIN IN CONDITIONS OF HUMID SEA CLIMATE

V.T. Yerofeev, A.V. Myshkin, E.N. Kablov, O.V. Startcev,
V. F. Smirnov, O.N. Smirnova

The results of polyesteracrylate compositions research on firmness in conditions of Black Sea climate are presented. The experiment has shown the change of physicommechanical properties of poliesteracrylate composites in the conditions of increased humidity, ultra-violet radiation influence and in sea water. The compositions which are the most resistant to the influence of the Black Sea climate are revealed.

Keywords: polymeric composition, climatic influence, poliesteracrylate pitch, firmness

При возведении зданий и сооружений, а также при выполнении ремонтных работ очень часто возникает необходимость повышения долговечности строительных конструкций в условиях агрессивных эксплуатационных факторов. К ним относятся как повышенные механические нагрузки, так и биологические и химические воздействия, приводящие к разрушению композиционных материалов. Для снижения степени коррозионного действия среды на строительные конструкции устраивают вентиляцию в помещениях, чтобы уменьшить концентрацию агрессивных газов в атмосфере, применяют конструкции такой формы и с такой поверхностью, которая исключает застой агрессивных сред, делают уклоны полов и трапы для удаления технологических сред. Наряду со снижением коррозионного действия среды одним из путей решения данной проблемы является изготовление строительных конструкций из конструкционных полимерных материалов – полимербетонов, стекло- и углепластиков или применение защитных покрытий из полимерных композиционных материалов на основе различных смол по металлическим, железобетонным и другим конструкциям [1–3]. Они являются более эффективными по сравнению с традиционными материалами (цементными, жидкостекольными и другими бетонами) при эксплуатации в условиях воздействия агрессивных факторов [4–6]. Несмотря на всё возрастающие темпы использования в строительстве лакокрасочных материалов, растворов, бетонов с применением полимеров, некоторые проблемы их долговечности в условиях химических и биологических агрессивных сред, а также различных климатических факторов остаются малоизученными.

Полимерные материалы в процессе эксплуатации в воздушной среде на открытых площадках, а также в некоторых зданиях и сооружениях наряду с физическими и химическими воздействиями подвергаются микробиологическим повреждениям, глав-

ным образом микроскопическими грибами, которые могут использовать их отдельные компоненты в качестве источника питания [4, 7, 8]. Важным элементом в поиске причин возникновения деструкции является выявление устойчивости полимерных композиций, получаемых с применением различных составов отверждающей системы полимерного вяжущего и компонентов полимерминеральной смеси.

Целью настоящей работы являлось изучение изменений прочностных и физико-механических свойств полиэфиракрилатных полимеров в зависимости от их состава и условий эксплуатации (влажный морской климат, морская вода, солнечная радиация). Рассматривались композиции на основе полиэфиракрилатной смолы марки МГФ-9, отверждаемой инициатором твердения пероксидом циклогексанона ПЦОН-2 и ускорителем твердения октоатом кобальта ОК-1. Исследования проведены с помощью математических методов планирования эксперимента. Была использована матрица планирования по плану Коно [9].

Составы с различным содержанием отверждающей системы, полученные по матрице планирования, и их физико-механические свойства приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Матрица планирования и физико-механические свойства композитов

Номер состава	Матрица планирования		Рабочая матрица		Физико-механические свойства композитов, МПа		
	X_1	X_2	содержание ОК-1, мас.ч. на 100 мас.ч. смолы	содержание ПЦОН-2, мас.ч. на 100 мас.ч. смолы	прочность при сжатии	прочность при изгибе	модуль упругости
1	-1	-1	3,2	1,6	144,4	63,0	1352
2	0	-1	4,4	1,6	135,2	63,9	1305
3	+1	-1	5,6	1,6	139,2	59,9	1432
4	-1	0	3,2	2,8	173,4	100,4	1370
5	0	0	4,4	2,8	178,0	80,9	1498
6	+1	0	5,6	2,8	163,6	88,7	1420
7	-1	+1	3,2	4	143,3	89,5	1377
8	0	+1	4,4	4	172,4	93,2	1324
9	+1	+1	5,6	4	173,0	99,2	1349

Т а б л и ц а 2

Результаты испытаний

Номер состава	Относительные показатели образцов, выдержанных на открытой площадке				Относительные показатели образцов, выдержанных под навесом				Относительные показатели образцов, выдержанных в морской воде			
	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$E_{сж}$	$\Delta G, \%$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$E_{сж}$	$\Delta G, \%$	$R_{сж}$	$R_{изг}$	$E_{сж}$	$\Delta G, \%$
1	0,871	0,829	0,977	0,728	0,821	0,813	0,957	1,017	0,885	0,852	0,969	0,719
2	0,882	0,825	0,985	0,724	0,819	0,801	0,958	0,890	0,891	0,866	0,955	0,653
3	0,864	0,826	0,984	0,648	0,854	0,817	0,974	0,922	0,893	0,860	0,958	0,717
4	0,942	0,812	0,976	0,604	0,875	0,834	0,950	0,911	0,912	0,870	0,976	0,609
5	0,954	0,840	0,980	0,611	0,874	0,851	0,969	0,866	0,923	0,907	0,978	0,564
6	0,943	0,850	0,965	0,604	0,89	0,859	0,980	0,901	0,904	0,912	0,975	0,587
7	0,881	0,817	0,963	0,658	0,881	0,824	0,971	0,943	0,897	0,865	0,974	0,633
8	0,861	0,823	0,975	0,664	0,864	0,843	0,964	0,926	0,899	0,863	0,949	0,645
9	0,844	0,819	0,981	0,718	0,856	0,849	0,966	0,945	0,881	0,871	0,965	0,701

Нами было исследовано изменение физико-механических свойств образцов, выдержанных в условиях Черноморского побережья Краснодарского края. Образцы 5-кратной повторности выдерживали на Черноморском побережье на открытой площадке, под навесом, а также в морской воде.

Полученные данные по изменению массосодержания (ΔG), прочности при сжатии ($R_{сж}$) и изгибе ($R_{изг}$), модуля упругости образцов ($E_{сж}$), выдержанных в вышеуказанных условиях, приведены в табл. 2.

Статистическая обработка результатов эксперимента позволила получить зависимости изменения прочности при сжатии (Y_1), при изгибе (Y_2), модуля упругости (Y_3), массосодержания (Y_4) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в климатических условиях Черноморского побережья и морской воде, от количества компонентов отверждающей системы (X_1 и X_2). Значения коэффициентов математических моделей приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Значение коэффициентов математических моделей

Условия испытаний	Относительные показатели стойкости композитов по матрице планирования	Значения коэффициентов							
		b_0	b_1	b_2	b_{12}	b_{11}	b_{22}	b_{112}	b_{122}
На открытой площадке	$R_{сж}$	0,611	0	-0,03	0,035	-0,006	0,084	0,03	-0,005
	$R_{изг}$	0,954	0	-0,0116	-0,008	-0,009	-0,08	0,008	-0,011
	$E_{сж}$	0,84	0,019	-0,001	0,001	-0,004	-0,011	-0,004	-0,019
	ΔG	0,981	0,005	0	0,002	-0,006	-0,004	-0,005	-0,003
Под навесом	$R_{сж}$	0,954	0	-0,011	-0,008	0	-0,08	0,008	-0,011
	$R_{изг}$	0,840	0,019	-0,001	0,001	-0,004	-0,011	-0,004	-0,019
	$E_{сж}$	0,847	0,013	0,021	0,005	0,001	-0,023	-0,01	-0,005
	ΔG	0,965	0,015	0,003	-0,006	0,003	-0,001	-0,002	-0,012
В морской воде	$R_{сж}$	0,56	-0,011	-0,004	0,017	0,04	0,091	-0,021	-0,027
	$R_{изг}$	0,919	-0,004	-0,004	-0,006	-0,009	-0,022	-0,004	0,002
	$E_{сж}$	0,899	0,021	-0,002	-0,001	-0,006	-0,032	0,008	-0,018
	ΔG	0,969	0	-0,003	0,001	0,011	-0,013	0,003	-0,005

Проверка адекватности моделей с помощью общепринятой методики [9] по критерию Фишера с 95 % доверительной вероятностью показала соответствие опытных и расчетных данных (табл. 3). Результаты проверки адекватности позволяют считать приемлемыми виды моделей и приступить к графической интерпретации двухмерных сечений отклика.

Т а б л и ц а 4

Проверка адекватности моделей по критериям Фишера и Кохрена

Условия испытаний	Свойства	Значение критерия Фишера		Значение критерия Кохрена	
		расчетное	табличное	расчетное	табличное
На открытой площадке	$R_{сж}$	1,785	3,798	0,327	0,396
	$R_{изг}$	2,233		0,298	
	$E_{сж}$	3,124		0,275	
	ΔG	2,274		0,241	
Под навесом	$R_{сж}$	3,521	3,798	0,362	0,396
	$R_{изг}$	3,102		0,341	
	$E_{сж}$	2,874		0,241	
	ΔG	3,230		0,288	
В морской воде	$R_{сж}$	1,895	3,798	0,269	0,396
	$R_{изг}$	2,874		0,298	
	$E_{сж}$	2,127		0,351	
	ΔG	2,469		0,332	

Из графиков следует, что в целом изменение прочности композитов незначительно и не превысило 15 %, т.е. полиэфиракрилатные композиты достаточно хорошо сопротивляются воздействию влажной среды Черноморского побережья, солнечной радиации, вымыванию и выветриванию, а также воздействию микофлоры.

Графические зависимости позволяют выделить составы с наименьшим изменением физико-механических свойств после климатических испытаний. Это составы 5 и 6. В них одинаковое содержание отвердителя ПЦОН-2- 2,8 мас.ч. на 100 мас.ч. смолы. Сравнивая результаты с исследованиями видового состава микроорганизмов, выделенных с поверхности этих же образцов, было обнаружено, что на образцах состава №5 имеются наименьшее количество видов микофлоры [10].

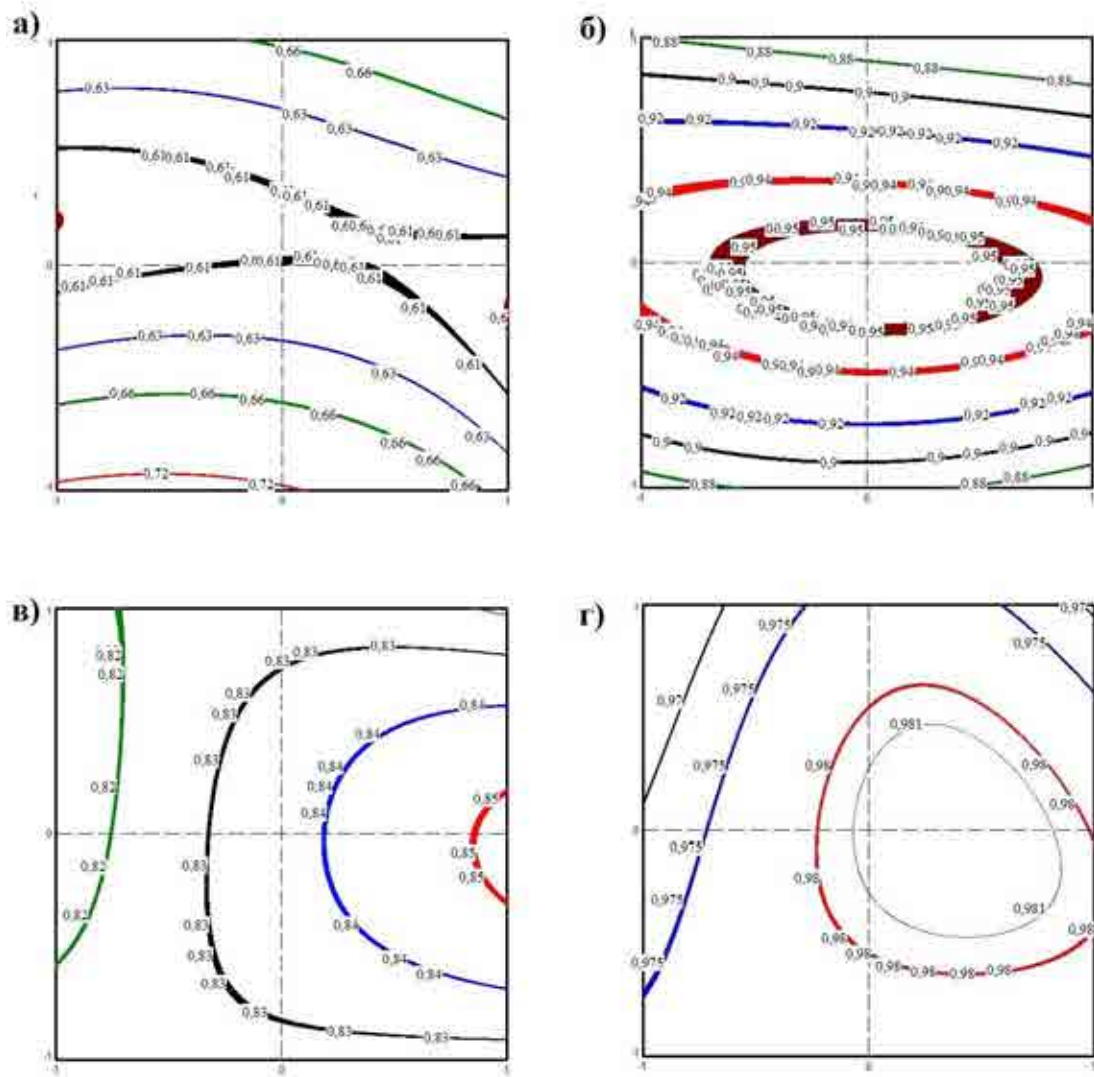


Рис. 1. Зависимости изменения массосодержания (а), коэффициента стойкости при сжатии (б), изгибе (в) и модуля упругости (г) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных на открытой площадке

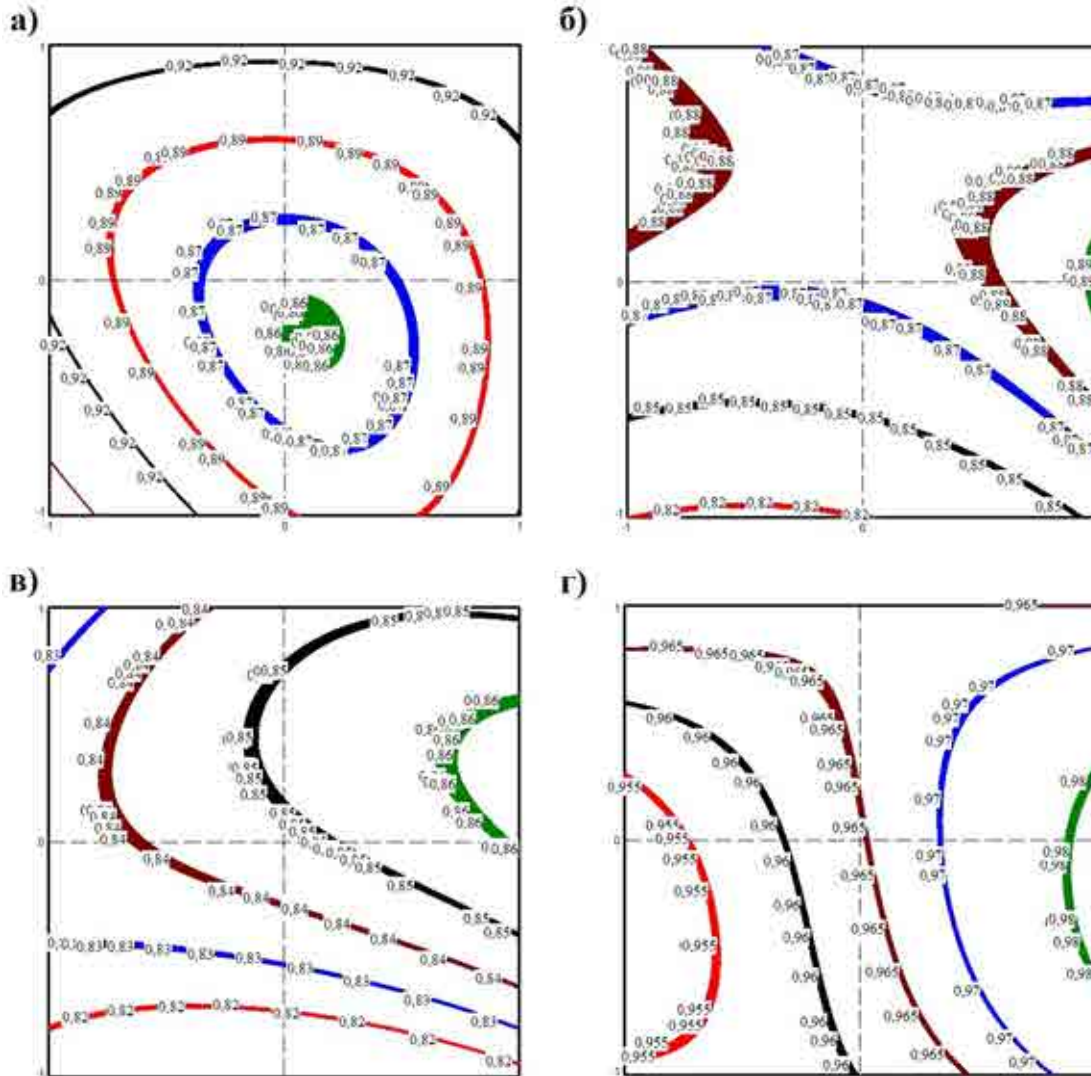


Рис. 2. Зависимости изменения массосодержания (а), коэффициента стойкости при сжатии (б), изгибе (в) и модуля упругости (г) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных под навесом

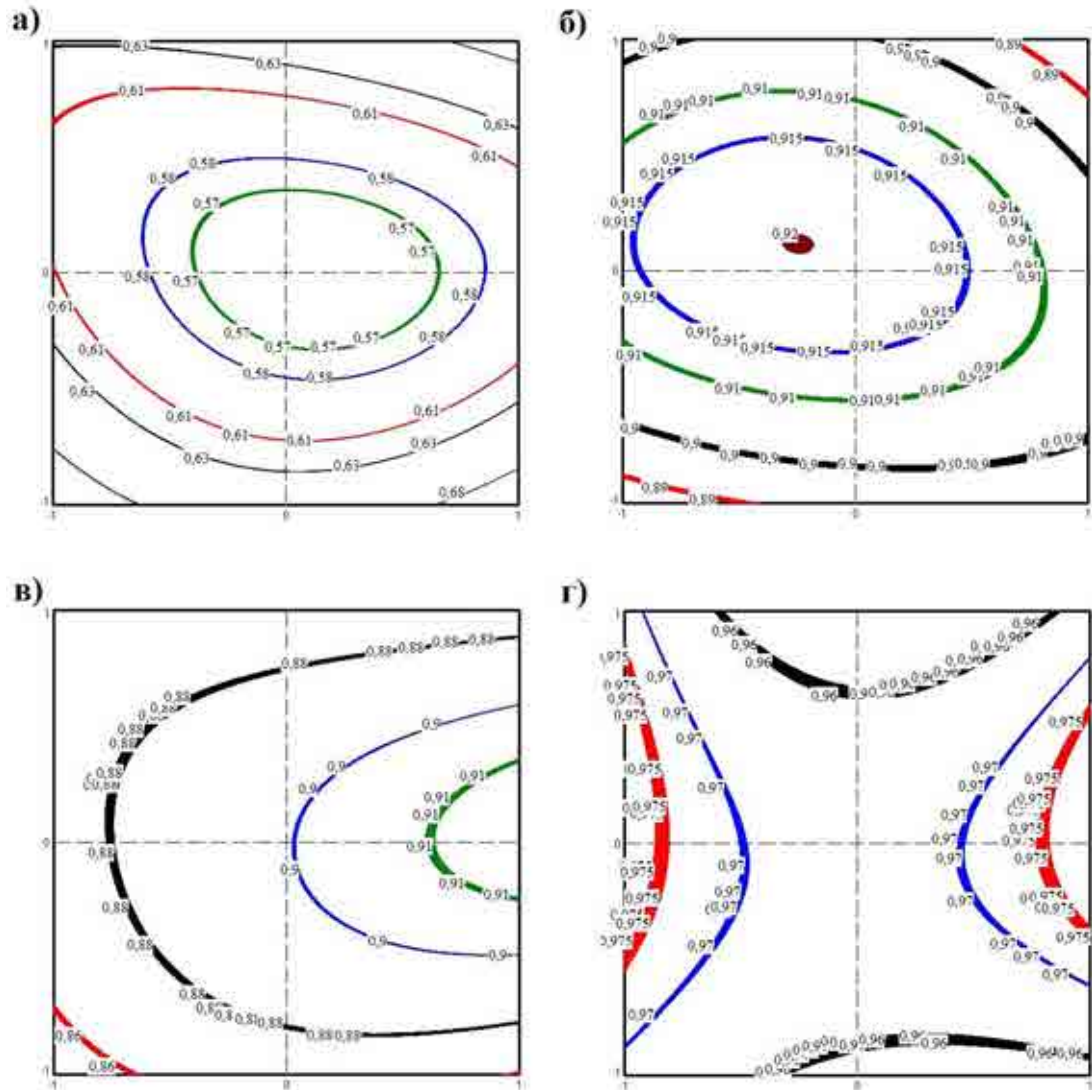


Рис. 3. Зависимости изменения массосодержания (а), коэффициента стойкости при сжатии (б), изгибе (в) и модуля упругости (г) полиэфиракрилатных композитов, выдержанных в морской воде

Выводы

1. Показано изменение стойкости при выдерживании в условиях воздействия повышенной влажности и ультрафиолетового облучения Черноморского побережья и морской воде полиэфиракрилатных композитов при изменении рецептуры отверждающей системы.
2. Показано, что воздействие агрессивных факторов не приводит к значительному изменению упруго-прочностных свойств полиэфиракрилатных композитов с оптимальным составом отверждающей системы.
3. Выявлена достаточно высокая стойкость полиэфиракрилатных композитов к воздействию солнечной радиации, вымыванию, выветриванию.

Список литературы

1. Ерофеев, В.Т. Каркасные строительные композиты: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / В.Т. Ерофеев; Моск. гос. ун-т. путей сообщения. – М., 1993. – 51 с.

2. Ерофеев, В.Т. Эпоксидные полимербетоны, модифицированные нефтяными битумами, каменноугольной и карбамидной смолами и аминоксидными соединениями / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: Палеотип, 2008. – 244 с.
3. Каблов, Е.Н. Коррозия или жизнь / Е.Н. Каблов // Наука и жизнь. – 2012. – №11. – С. 16-21.
4. Соломатов, В.И. Биологическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов [и др.]. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2001. – 196 с.
5. Ерофеев, В.Т. Микробиологическое разрушение материалов: учеб. пособие / В.Т. Ерофеев [и др.]. – М.: АСВ, 2008. – 128 с.
6. Комохов, П.Г. Защита зданий и сооружений от биоповреждений биоцидными препаратами на основе гуанидина / под ред. П.Г. Комохова, В.Т. Ерофеева, Г.Е. Афиногенова. – СПб.: Наука, 2009. – 192 с.
7. Богатова, С.Н. Исследование биологической стойкости эпоксидных покрытий / С.Н. Богатова [и др.] // Лакокрасочные материалы и их применение. – 2011. – №3. – С.42–45.
8. Бажанова, М.Е. Исследование стойкости полимерных и металлополимерных материалов в условиях воздействия почвенных микроорганизмов / М.Е. Бажанова, В.Т. Ерофеев, А.Н. Бобрышев // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №1-2. – С.415–421.
9. Тихомиров, В.Б. Планирование и анализ эксперимента (при проведении исследования в легкой и текстильной промышленности) / В.Б.Тихомиров. – М.: Индустрия, 1974. – 253 с.
10. Ерофеев, В.Т. Видовой состав микрофлоры, выделенной с полиэфиракрилатных композитов в условиях влажного морского климата / В.Т. Ерофеев [и др.] // Региональная архитектура и строительство. – 2014.

References

1. Yerofeev, V.T. Frame construction composites: the thesis abstract on competition of a scientific degree of Doctor of Engineering / V.T. Yerofeev; Mosc. the state. un-ty of means of communication. – M., 1993. – 51 p.
2. Yerofeev, V.T. Epoxy concrete, modified by oil bitumens, coal and carbamide pitches and amin derivatives of connections / V.T. Yerofeev [etc.]. – M.: Paleotip publishing house, 2008. – 244 p.
3. Kablov, E.N. Corrosion or life / E.N. Kablov // Science and life. – 2012. – No. 11. – P. 16–21.
4. Solomatov, V.I. Biological resistance of materials / V.I. Solomatov [etc.]. – Saransk: Publishing house Mordov. Un-ty, 2001. – 196 p.
5. Yerofeev, V.T. Microbiological destruction of materials: studies. grant / V.T. Yerofeev [etc.]. – M.: ASV, 2008. – 128 p.
6. Komokhov, P.G. Protection of buildings and constructions against biodamages by biocidal preparations on a basis guanidin / under the editorship of P.G. Komokhov, V.T. Yerofeev, G. E. Afinogenov. – SPb.: Science, 2009. – 192 c.
7. Bogatova, S.N. Research of biological firmness of epoxy coverings / S.N. Bogatova [etc.] // Paintwork materials and their application. – 2011. – №3. – P.42–45.
8. Bazhanova, M.E. Research of firmness of polymeric and metalpolymeric materials in the conditions of influence soil Microorganisms / M.E. Bazhanova, V.T. Yerofeev, A.N. Bobryshev // News of Southwest state university. – 2011. – №1-2. – P. 415–421.
9. Tikhomirov, V.B. Planning and the experiment analysis (when carrying out research in the light and tekstillyy industry) / V.B.Tikhomirov. – M.: Industry, 1974. – 253 p.
10. Yerofeev, V.T. Structure optimization of poliesteracrylate composites / V.T. Erofeev [etc.] // Regional architecture and construction. – 2014.

УДК 553:543.422(470.4)

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24,
тел.: (8342) 47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
академик РААСН, доктор технических
наук, профессор, зав. кафедрой
«Строительные конструкции», президент
Научно-технического общества строителей
Республики Мордовия
E-mail: ntorm80@mail.ru

Неверов Вячеслав Александрович,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Физика твердого тела»

Куприяшкина Людмила Ивановна,
кандидат технических наук, доцент
профессор кафедры «Строительные
конструкции»

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

Russia, 430000, Saransk, 24,
Soviet St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Academician of the Russian Academy of
Architectural and Construction Sciences, Doctor
of Science, Professor, Head of the department
«Building designs», President of Scientific and
Technical Society of the Mordovia Republic
E-mail: ntorm80@mail.ru

Neverov Vyacheslav Aleksandrovich,
candidate of physico-mathematical Sciences,
associate professor of department «Solid state
physics»

Kupriyashkina Ludmila Ivanovna,
Candidate of Sciences, Professor
of the department «Building designs»

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЫЕ И РЕНТГЕНОСПЕКТРАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЦЕОЛИТСОДЕРЖАЩИХ ПОРОД АТЯШЕВСКОГО И ТАТАРСКО- ШАТРАШАНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЙ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

В.П. Селяев, В.А. Неверов, Л.И. Куприяшкина

Методами рентгеноспектрального и рентгеноструктурного анализа изучены элементный и фазовый состав цеолитсодержащих пород Атышевского (Республика Мордовия) и Татарско-Шатрашанского (Республика Татарстан) месторождений. Проведен сравнительный анализ оксидного состава ископаемых цеолитов месторождений Российской Федерации, некоторых стран СНГ и дальнего зарубежья.

Ключевые слова: цеолитсодержащие породы, месторождения, химический состав, кремнезем, дифракционный спектр, элементный состав, рентгеноструктурный анализ

X-RAY STRUCTURAL AND SPECTRAL RESEARCH OF ZEOLITE-CONTAINING ROCKS OF ATYASHEVSKY AND TATAR-SHATRASHANSK FIELDS IN MIDDLE VOLGA REGION

V.P. Selyaev, V.A. Neverov, L.I. Kupriyashkina

The elemental and phase composition of the zeolite-containing rocks in Atyashevskiy (Republic Mordovia) and Tatar-Shatrashanskoe (Republic of Tatarstan) deposits are studied by methods of structural and spectral analysis. A comparative analysis of the composition of the oxide minerals zeolite deposits of the Russian Federation and some CIS countries and abroad is carried out.

Keywords: zeolite-containing rocks, deposits, chemical composition, silica diffraction spectrum, elemental composition, X-ray spectral analysis

Цеолиты – природные или искусственные минералы – являются хорошими сорбентами, обладают каталитическими, молекулярно-ситовыми свойствами [1] и имеют широкое практическое применение, например, в фильтрах для очистки воды, в ядерной

энергетике при утилизации радиоактивных отходов атомных электростанций и реакторов, в тампонажных растворах на нефтяных и газовых скважинах и т.д. В строительстве цеолиты используются в качестве активной минеральной добавки и составляющей силикатных, гипсоцементопуццолановых вяжущих и различных бетонов на их основе. Экономически применение того или иного вида цеолита диктуется в первую очередь конкурентной способностью местной сырьевой базы и его качеством. Для оценки качества цеолитового сырья необходимо знание его физико-химических свойств и минералогического состава. Важное значение имеют элементный состав и термическая стабильность, параметры поровой структуры цеолитового каркаса.

В настоящей работе представлены результаты исследований элементного и фазового состава цеолитсодержащих пород Атяшевского (Республика Мордовия) и Татарско-Шатрашанского (Республика Татарстан) месторождений, проведенных методами рентгенофлуоресцентной спектроскопии и рентгеноструктурного анализа. Основные залежи сырья Атяшевского месторождения сосредоточены в восточных районах республики в отложениях турон-сантонского яруса. По содержанию клиноптилолита эти отложения превосходят сантонские отложения Татарстана. Имеющийся фонд прогнозных ресурсов может считаться достаточной базой для перспективного использования цеолитов Мордовии в качестве минерального сырья для производства различного рода строительных материалов, компонентов сухих смесей и добавок, теплоизоляционных изделий и наполнителей, фильтров, сорбентов и т.д.

Известно, что цеолитсодержащие породы различных месторождений различаются химическим, минералогическим составом, плотностью, теплопроводностью, прочностью, устойчивостью к высоким температурам и другими характеристиками. Анализ литературных данных по оксидному составу цеолитсодержащих пород России, стран СНГ и дальнего зарубежья [2, 3] показывает, что основную роль в подавляющем числе цеолитов играют: SiO_2 (44–80 %), Al_2O_3 (4–13 %), CaO (8–18 %), Fe_2O_3 (1,5–4,3 %), K_2O ~ 2,6 %, Na_2O ~ 0,4 %. Элементный анализ исследуемых цеолитсодержащих пород (в пересчете на оксиды) проведен методом рентгенофлуоресцентной спектроскопии. Он позволяет с высокой точностью определять процентное содержание большинства химических элементов и широко применяется для контроля минерального состава, химической чистоты, динамики сорбционных процессов и процессов деградации различных дисперсных систем. В таблице представлены результаты исследований оксидного состава цеолитсодержащих пород месторождений Республики Мордовия и Республики Татарстан, а также некоторых месторождений стран дальнего зарубежья, СНГ и Российской Федерации.

Результаты исследований оксидного состава цеолитсодержащих пород

Месторождение	SiO_2	Al_2O_3	CaO	Fe_2O_3	K_2O	MgO	TiO_2	P_2O_5	Na_2O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Атяшевское	70,6	11,2	8,3	4,3	3,3	1,3	0,7	0,2	-
Татарско-Шатрашанское	75,7	11,8	1,9	6,1	2,0	1,3	0,6	0,1	-
Холинское	63,5	12,7	0,9	1,3	2,9	0,5	0,2	-	2,6
Шивыртуйское	66,6	12,5	2,1	-	3,9	0,4	-	-	-
Пегасское	62,7	13,6	5,0	-	1,0	0,3	-	-	0,3
Хонгуриновское	65,3	12,0	3,3	-	1,0	1,5	-	-	1,4
Чугуевское	69,4	13,1	2,7	-	3,2	0,5	-	-	0,8
годнинское	67,8	12,7	1,4	-	3,9	0,4	-	-	2,1
Хотынецкое	62,6	19,6	8,2	-	1,8	2,2	-	-	1,5
Мысовское	59,3	14,5	3,8	3,1	0,9	1,6	0,5	-	0,8
Береговское	60,2	13,9	1,9	2,6	1,7	1,8	0,6	-	1,1
Сокирницкое (Украина)	71,5	13,1	2,1	0,9	5,0*	1,1	0,2	-	-
Тедзамское (Грузия)	59,1	13,4	5,0	-	1,5	1,4	-	-	2,3
Айдагское (Азербайджан)	66,1	12,9	4,4	1,6	1,5	2,7	-	-	2,7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Хокуроку(Япония)	71,1	9,4	1,0	1,4	0,5	2,2	0,2	-	1,3
	76,6	9,7	0,9	0,4	4,1	0,1	0,1	-	2,0
	64,1	13,1	1,3	1,6	6,0	0,2	0,2	0,1	2,8
Кралево (Болгария)	71,4	12,7	2,2	0,9	3,9	0,9	0,2	-	0,9
Nevada (USA)	59,1	13,8	1,0	2,2	4,9	0,7	0,2	-	3,0
	58,9	14,2	2,7	0,4	4,9	1,2	0,1	-	0,6
	59,5	14,2	-	0,7	3,6	0,1	0,1	-	5,9

Данные элементного анализа указывают на сложный оксидный состав цеолитосодержащих пород всех месторождений, причем присутствие SiO_2 колеблется в пределах 59–77 %, а Al_2O_3 – 9,4–19,6 %. При этом Атяшевское, Татарско-Шатрашанское, Сокирницкое, два месторождения района Хокуроку (Япония) и Кралево (Болгария) имеют в своем составе более 70 % SiO_2 . Менее богаты этим оксидом Тедзамское месторождение (Грузия) и месторождения штата Невада (США): 58,9–59,5 %. Минимальное количество Al_2O_3 наблюдается в двух месторождениях Хокуроку (9,4 и 9,7 %), а максимальное – 19,6 % – в породах Хотынецкого месторождения (Орловская обл., РФ). Если сравнивать состав цеолитосодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений, то в целом они подобны, однако имеются и некоторые различия. Так, содержание SiO_2 в ископаемом материале Татарско-Шатрашанского месторождения примерно на 5 % больше, а CaO ~ на 6 % меньше, чем в породах Атяшевского месторождения. Присутствие Al_2O_3 практически одинаково в обоих цеолитах. Наибольшее содержание примеси Fe_2O_3 отмечается в породах Татарско-Шатрашанского (6,1 %) и Атяшевского (4,3 %) месторождений. В других цеолитосодержащих породах, представленных в таблице, этот оксид не превышает 3,1 % (Мысовское месторождение, Приполярный Урал).

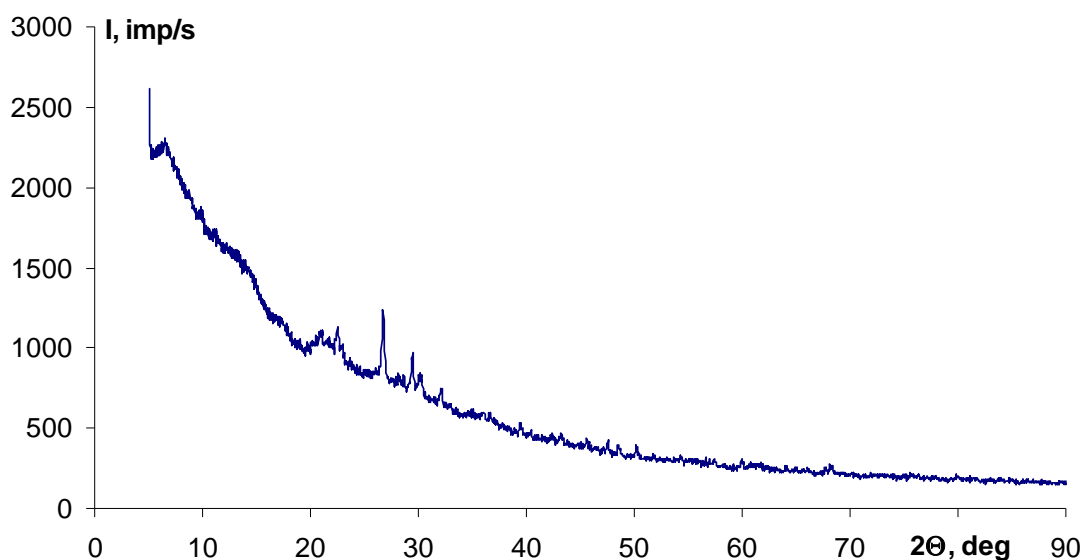
Таким образом, цеолитосодержащие породы Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений по содержанию материала-стеклообразователя не уступают и даже превосходят многие цеолитовые ископаемые различных стран и регионов, что позволяет считать этот дисперсный материал пригодным для производства пеностекла, ячеистых материалов и зернисто-пористых наполнителей теплоизоляционных панелей.

Одним из наиболее достоверных методов качественного анализа цеолитов и ассоциирующих с ними минералов в цеолитосодержащих породах можно считать метод рентгеновской дифрактометрии [4]. Каждый минерал или кристаллическая примесь вносит свой вклад в дифракционный спектр исследуемого материала в виде пиков (дифракционных максимумов), положение и интенсивность которых уверенно диагностируют наличие тех или иных фаз цеолитосодержащей породы. Эта задача не всегда имеет однозначное решение, так как дифракционные максимумы различных фаз могут накладываться друг на друга, а некоторые составляющие исследуемого вещества и вовсе не проявлять себя ввиду их малой концентрации (обычно менее 5 %). Аморфные и глинистые материалы дают на дифрактограмме так называемое «аморфное гало» в виде широкого бесструктурного максимума (шириной в десятки градусов), что не способствует уверенной идентификации фаз с низкой относительной интенсивностью дифракционных рефлексов. Определение (идентификация) фаз может быть проведено с помощью специальных таблиц, путем сравнения экспериментального набора значений 2θ , d и I/I_0 , полученных из рентгеновского спектра, с табличными данными, либо с использованием картотеки ASTM (American Society for Testing and Materials, <http://www.astm.org>).

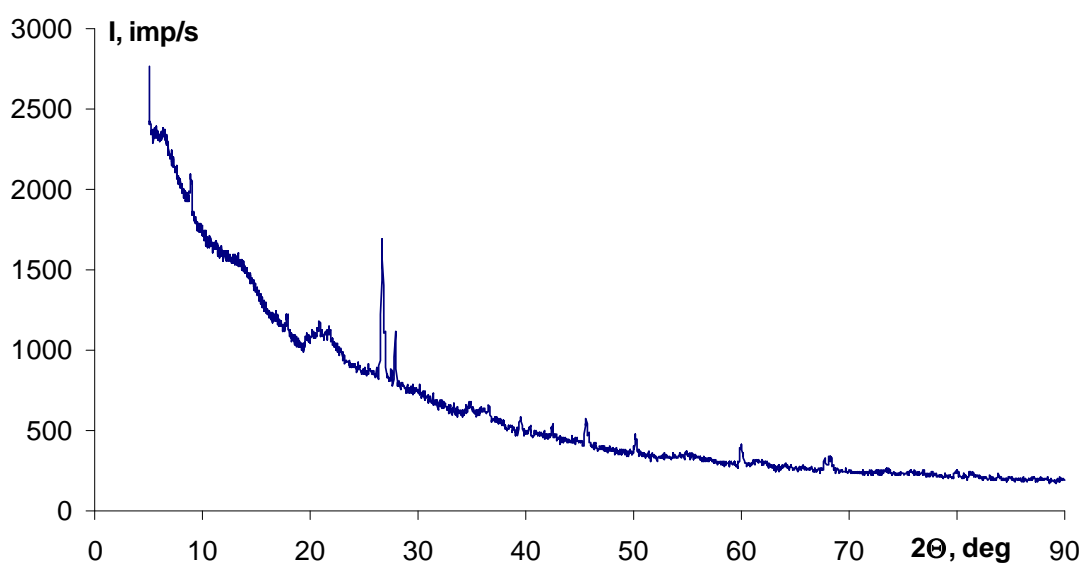
Экспериментальный материал в виде дифракционных спектров (см. рисунок) цеолитосодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений получен на рентгеновском дифрактометре ДРОН–6 с применением CuK_α -излучения и Ni-фильтра. Диапазон регистрируемых углов 2θ – 5–90°, шаг сканирования – 0,02°, время набора импульсов в каждой точке – 5 с.

Индикатрисы рассеяния рентгеновских лучей дисперсными порошками цеолитсодержащих пород имеют типичный вид для материалов, содержащих как кристаллические фазы, так и аморфные и ультрадисперсные фракции: на фоне четко выраженного аморфного гало в диапазоне углов 2θ от 5 до 40° наблюдаются дифракционные отражения разной интенсивности и формы, соответствующие поликристаллическим фазам ископаемых пород. Анализ положений дифракционных рефлексов цеолитсодержащей породы Атяшевского месторождения (см. рисунок *a*) показал, что минералы цеолитов представлены преимущественно клиноптилолитом: основные идентифицирующие этот минерал максимумы имеют значения межплоскостных расстояний d – 8,97; 7,88; 5,24; 5,11; 4,11; 3,94; 3,15; 2,97; 2,72 Å. Для клиноптилолитов характерны следующие значения межплоскостных расстояний: 9,02 – 8,97; 7,93 – 7,86; 5,25 – 5,23; 5,11; 4,11; 3,98 – 3,89; 3,18 – 3,13; 2,98 – 2,96; 2,80 – 2,75 Å. Таким образом, рентгеновский дифракционный эксперимент позволил однозначно идентифицировать клиноптилолит в качестве основного породообразующего минерала Атяшевского месторождения.

a



б



Дифрактограммы цеолитсодержащих пород:
a – Атяшевского; *б* – Татарско-Шатранского месторождений

Сопутствующими минералами цеолитов в цеолитсодержащих породах часто являются кварц, слюда, полевые шпаты, монтмориллониты. Монтмориллониты ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) – глинистые минералы, обычно представлены исключительно тонкодисперсными частицами с линейными размерами ~ 10 нм – диагностируются несколькими рефлексами в интервале значений $d \sim 14,2\text{--}15,2$ Å. В цеолитсодержащей породе Атяшевского месторождения этот минерал проявляет себя тремя максимумами – 15,0; 14,5; 14,2 Å. Присутствие в образце ископаемой породы слюды можно идентифицировать тремя характерными отражениями со значениями d : 10,0; 4,98 и 3,32 Å. Обычно эти максимумы слабоконтрастны ввиду малого процентного содержания данного минерала. Возможно, что по аналогичной причине не удалось обнаружить интерференционные линии полевых шпатов.

В качестве примесей цеолитсодержащих пород Атяшевского месторождения удалось зарегистрировать следующие поликристаллические фазы с характерными значениями межплоскостных расстояний:

$\alpha\text{-SiO}_2$ – 4,25; 3,34; 2,45; 2,29; 2,23; 2,12; 1,97; 1,82; 1,54; 1,45; 1,38; 1,20 Å;

$\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ – 3,48; 2,55; 2,39; 2,16; 2,09; 1,74; 1,60; 1,54; 1,40; 1,37; 1,24 Å;

CaCO_3 (кальцит) – 3,04; 2,84; 2,49; 2,29; 2,09; 1,93; 1,91; 1,87; 1,63; 1,60; 1,53; 1,44; 1,42 Å;

CaO – 2,76; 2,39; 1,69; 1,45; 1,38; 1,20 Å.

Полученные авторами значения межплоскостных расстояний хорошо согласуются с табличными и с данными других исследований [5]. Для дифференцированной диагностики других, например изоморфных минералов клиноптилолит-гейлантитного ряда, необходимо использовать дополнительные методы исследований.

Определив межплоскостные расстояния дифракционных отражений спектра цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения (см. рисунок б), можно сделать заключение, что его породообразующим минералом, как и цеолита Атяшевского месторождения, является клиноптилолит. Он характеризуется набором значений межплоскостных расстояний: 7,86; 5,24; 4,10; 3,13; 2,97 Å. Сопутствующий клиноптилолиту монтмориллонит индицируется отражениями с d : 15,2; 14,0 Å. Кроме того, по рефлексам 10,0; 4,95; 3,33 Å регистрируется наличие слюды. Полевой шпат, состав которого может характеризовать тройную систему $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] - \text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8] - \text{Ca}[\text{Al}_3\text{Si}_2\text{O}_8]$, имеет в рентгеновском спектре три или две линии в диапазоне значений межплоскостных расстояний 3,28 – 3,16 Å. В исследуемом ископаемом материале надежно регистрируются две линии – 3,24 и 3,20 Å. На дифрактограмме цеолита Атяшевского месторождения такие линии не обнаружены. Кроме породообразующих минералов в состав цеолита Татарско-Шатрашанского месторождения в качестве примеси входит заметное количество диоксида кремния в кристаллической фазе. Межплоскостные расстояния практически совпадают с таковыми для $\alpha\text{-SiO}_2$ Атяшевского месторождения.

Результаты проведенных исследований цеолитсодержащих пород Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений позволяют сделать ряд выводов:

- породообразующим минералом обеих цеолитовых залежей является клиноптилолит;
- содержание диоксида кремния в исследованных породах превышает 70 %, и по этому показателю они заметно опережают многие месторождения Российской Федерации и других стран;
- в составе пород Татарско-Шатрашанского месторождения отмечается большее содержание песчаника, чем в отложениях Атяшевского месторождения.

В целом, цеолитсодержащие ископаемые породы Атяшевского и Татарско-Шатрашанского месторождений имеют сходные структурные характеристики, фазовый и минеральный состав. Высокое содержание стеклообразующих соединений позволяет использовать эти материалы в качестве добавок, позволяющих повысить качество шихты для производства теплоизоляционных пеностеклянных изделий с уникальными свойствами и снизить энергозатраты при их изготовлении. Известно, что химический состав портландцементного клинкера колеблется в достаточно широких пределах. Главными окислами клинкера являются окись кальция CaO , двуокись кремния SiO_2 , окись алюминия Al_2O_3 и окись железа Fe_2O_3 , суммарное содержание которых может

достигать 95–97 %. Цеолитсодержащие породы могут быть с успехом использованы для обогащения клинкера основными окислами, модификации выпускаемых в настоящее время цементов, разработки вяжущих с заданными свойствами, отвечающими новым технологиям строительства и эксплуатации зданий и сооружений.

Список литературы

1. Брэк, Д. Цеолитовые молекулярные сита: пер. с англ. / Д. Брэк.– М.: Мир, 1976. – 784 с.
2. Валиева, И.Р. Физико-химические свойства цеолитовых и цеолитмонтмориллонитовых пород среднего Палеозоя Приполярного Урала / И.Р. Валиева, В.А. Нефедов // Цеолиты Приполярного и Полярного Урала, Наука и современность-2011: материалы IX Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 1 / под общ. ред. С.С.Чернова. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. – 69 с.
3. Papke, K.G. Erionite and other associated zeolites in Nevada / K.G. Papke // Nevada Bureau of Mines and Geology. Bulletin 79. – Reno: University of Nevada, 1972. – 32 p.
4. Bowen, D.K. High Resolution X-ray Diffractometry and Topography / D.K. Bowen, B.K. Tanner. – Taylor and Francis, 1998. – 278 p.
5. Роголина, Л.И. Особенности минерального состава цеолитов Амурской области / Л.И. Роголина, В.В. Юрков // Литосфера. – 2006. – № 1. – С. 149–157.

References

1. Brack, D. Zeolite molecular sieves: translated from English / D. Brack. – M.: World, 1976. – 784 p.
2. Valieva, I.R. Physico-chemical properties of zeolite and middle Paleozoic rocks tseolitmontmorillonitovyh Polar Urals / I.R. Valieva, V.A. Nefedov // Zeolites Subpolar and Polar Urals, Science and Modernity-2011: proceedings of the IX International scientific-practical conference: in 2 parts. Part 1 / under total. Ed. S.S.Chernova. – Novosibirsk: Publishing House of the State Technical University, 2011. – 69 p.
3. Papke, K.G. Erionite and other associated zeolites in Nevada / K.G. Papke // Nevada Bureau of Mines and Geology. Bulletin 79. – Reno: University of Nevada, 1972. – 32 p.
4. Bowen, D.K. High Resolution X-ray Diffractometry and Topography / D.K. Bowen, B.K. Tanner. – Taylor and Francis, 1998. – 278 p.
5. Rogulina, L.I. Features of the mineral composition of the zeolites Amur region / L.I. Rogulina, V.V. Jurkov // Lithosphere. – 2006. – № 1. – P. 149– 157.

УДК 691.175.2

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24
тел.: (8342) 47-71-56

Черкасов Василий Дмитриевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Прикладная механика»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Юркин Юрий Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Прикладная механика»
E-mail: yurkinuv@gmail.com

Авдонин Валерий Викторович,
инженер кафедры «Прикладная механика»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru

Аникина Надежда Сергеевна,
студентка архитектурно-строительного
факультета

*Mordovian State University
named after N.P. Ogarev*
Russia, 430000, Saransk, 24,
Soviet St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Cherkasov Vasilii Dmitrievich,
Doctor of Science, Professor of the
department «Applied mechanics»
E-mail: vd-cherkasov@yandex.ru

Yurkin Yuriy Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Applied mechanics»
E-mail: yurkinuv@gmail.com

Avdonin Valeriy Viktorovich,
Engineer of the department «Applied
mechanics»
E-mail: avdoninvalerii@bk.ru

Anikina Nadezhda Sergeevna,
Student of Architectural and civil engineering
faculty

ВИБРОПОГЛОЩАЮЩИЕ ПОКРЫТИЯ

В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин, Н.С. Аникина

Представлены результаты исследования вибропоглощающих материалов листового типа. В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований установлены оптимальные конструкционные характеристики демпфирующих покрытий.

Ключевые слова: вибропоглощающий материал листового типа, демпфирование, толщина, конструкция

VIBRATION DAMPING MATERIALS OF SHEET TYPE

V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin, N.S. Anikina

In this article the results of research of vibration damping materials of sheet type are presented. In the result of the carried out theoretical and experimental studies the most optimum constructional characteristics of damping coverings are established.

Keywords: vibration damping materials of sheet type, damping, thickness, design

В промышленном производстве и строительстве большое внимание уделяется вопросу демпфирования вибрации [1] тонкостенных конструкций и элементов. В жилых и общественных зданиях элементами, наиболее подверженными данному воздействию, являются узлы и детали инженерного оборудования: системы вентиляции и кондиционирования воздуха, трубопроводы систем отопления и канализации, тепловые пункты и т.д. Наиболее эффективным способом вибропоглощения в данном случае является применение листового вибропоглощающего материала, наносимого на поверхность защищаемой конструкции.

Численным показателем эффективности вибропоглощения служит коэффициент потерь (η), показывающий долю энергии, поглощенной в системе за период колебания. Для эффективного гашения вибрации значение коэффициента потерь вибропоглощающего материала должно быть не менее 0,1 (для сравнения, коэффициент потерь стали $\eta=0,001$). И что особенно важно, этот показатель имеет значительную зависимость от толщины вибропоглощающего материала, его конструктивных особенностей.

Структура вибропоглощающих покрытий листового типа представляет собой слоистую конструкцию (рис. 1). Основным конструктивным элементом вибропоглощающего покрытия является полимерный композиционный материал (ПКМ) (см.

рис. 1, поз. 2). Высокое рассеяние энергии в этом слое будет обуславливаться не только его демпфирующими свойствами, но и в значительной степени его деформированием. Для обеспечения эффективного деформирования необходимо тщательно спроектировать конструкцию вибропоглощающего материала.

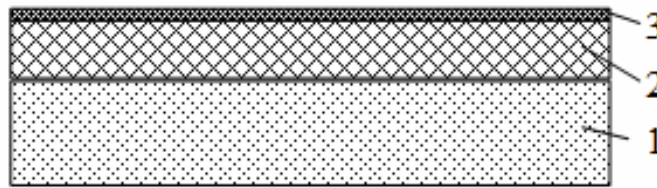


Рис. 1. Конструкция армированного вибропоглощающего покрытия:
1 – демпфируемая пластина; 2 – вязкоупругий слой; 3 – армирующий слой

Для прогнозирования демпфирующих свойств пластин, облицованных армированным покрытием, мы воспользовались методом волнового сопротивления [3], по которому коэффициент потерь определяется по формуле

$$\eta = \frac{\eta_2 \gamma}{1/g + g(1 + \eta_2^2)(1 + \gamma) + \gamma},$$

где

$$\gamma = \frac{12\alpha_{31}^2\alpha_3\beta_3}{1 + \alpha_2^3\beta_2 + \alpha_3^3\beta_3 + 12\alpha_{21}\alpha_2\beta_2}; \alpha_2 = \frac{h_2}{h_1}; \alpha_3 = \frac{h_3}{h_1}; \alpha_{21} = \frac{h_{21}}{h_1}; \alpha_{31} = \frac{h_{31}}{h_1};$$

$$h_{21} = \frac{1}{2}(h_1 + h_2); h_{31} = \frac{1}{2}(h_1 + h_3) + h_2; \beta_2 = \frac{E_2}{E_1}; \beta_3 = \frac{E_3}{E_1};$$

$$g_2 = \frac{G_2}{E_3 h_3 k_u^2 h_2}; k_u = \frac{2\pi f}{v};$$

h_1, h_2, h_3 – толщины демпфируемой пластины, вязкоупругого и армирующего слоев соответственно; $k_u \approx k_{u \text{ min}}$ – волновое число изгибных колебаний пластины с покрытием; f – частота колебаний; v – скорость распространения волны в пластине.

На рис. 2 представлена теоретическая зависимость демпфирующих свойств армированного покрытия от материала армирующего слоя. Здесь и далее для наглядного принято отношение E_3/E_1 , где E_3 – модуль упругости армирующего металлического слоя, E_1 – модуль упругости демпфируемой пластины. На рис. 3 показана теоретическая зависимость демпфирующих свойств армированного покрытия от толщины армирующего слоя (на примере алюминиевой фольги). Из результатов теоретического исследования следует, что увеличение толщины алюминиевой фольги с 40 до 100 мкм приводит к увеличению вибропоглощающих свойств покрытия в 1,4 раза, а применение стального армирующего слоя в 1,27 раза эффективнее использования алюминиевой фольги.

Оказалось, что вибропоглощающий материал листового типа тем эффективнее, чем больше жесткость армирующего слоя. С целью подтверждения теоретических данных проводились экспериментальные исследования. Определялось влияние количества слоев и толщины демпфирующего слоя на вибропоглощающие характеристики всей конструкции.

В качестве демпфирующего слоя применялся ПКМ на основе уже полученного битумно-каучукового вяжущего [5, 6]. Пластификатор – масло индустриальное И-20А (ГОСТ 20799-88), наполнители – мел ТУ (5743-020-053464532008), технический углерод (ГОСТ 7885-86). Материалы, используемые в качестве армирующего слоя, представлены в таблице.

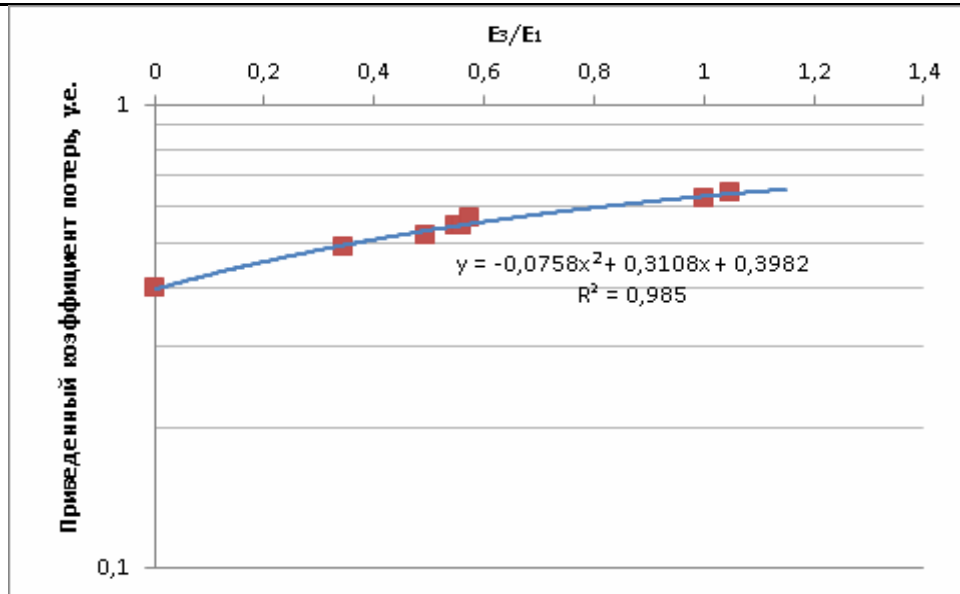


Рис. 2. Зависимость вибропоглощающих свойств конструкции на частоте 200 Гц от материала армирующего слоя, коэффициент потерь демпфирующего слоя $\eta_2=0,4$

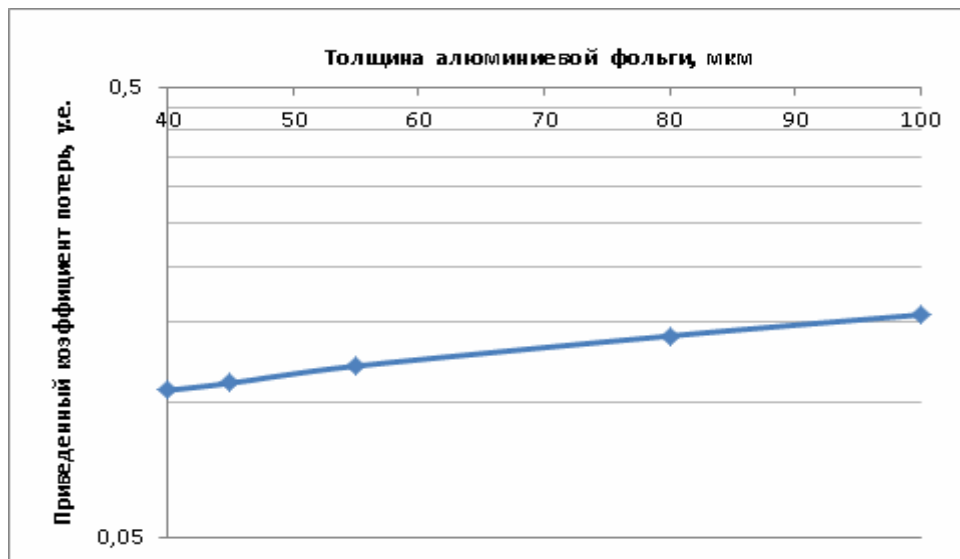


Рис. 3. Зависимость вибропоглощающих свойств конструкции от толщины армирующего слоя (алюминиевая фольга)

ПКМ изготавливался в лабораторной резиномешалке с Z-образными лопастями путем механического перемешивания смеси компонентов. После смесь экструдировали в ленту толщиной от 1 до 6 мм, шириной не менее 300 мм. С одной стороны вибропоглощающее покрытие дублировалось антиадгезионным материалом, с другой – армирующим слоем.

Наименование армирующего слоя	Модуль упругости армирующего материала, ГПа
1. Фольга алюминиевая толщ. 40, 45, 55, 80 и 100 мкм	0,345
2. Фольга латунная ДПРНТ Л63 толщ. 100 мкм	0,495
3. Фольга медная ДПРНТ М1 толщ. 80 мкм	0,55
4. Фольга титановая ВТ1-0 толщ. 100 мкм	0,56
5. Фольга ниобиевая толщ. 100 мкм	0,575
6. Стальная нержавеющая лента толщ. 50 мкм	1,0
7. Фольга никелевая ДПРНТ НП2 толщ. 100 мкм	1,05

При исследованиях применяли резонансный метод определения коэффициента потерь – показателя рассеяния энергии. Сущность метода заключалась в возбуждении у образца поперечных (изгибных) колебаний основной гармоники. Применяли резонансную установку с погрешностью измерений частоты колебаний не более 0,1 Гц, обеспечивающую закрепление образца, возбуждение и измерение колебаний с использованием электромагнитных преобразователей. За сравнительную характеристику поглощения колебаний двух материалов принят коэффициент потерь при комнатной температуре и частоте колебаний 200 и 1000 Гц.

Исследования показали, что лучшие результаты достигаются при толщине вязкого слоя до 3 мм (рис. 4).

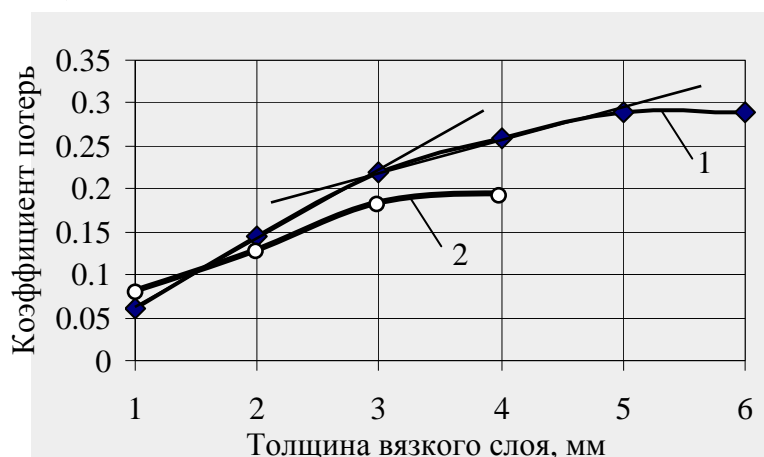


Рис. 4. Зависимость коэффициента потерь покрытия от толщины вязкого слоя (коэффициент потерь вязкого слоя 0,6; частота 200 Гц):

1 – теоретическая зависимость; 2 – экспериментальные данные

Таким образом, простым увеличением толщины покрытия нельзя добиться высокой эффективности вибропоглощения (увеличивается масса демпфирующего покрытия). Произведена оценка эффективности многослойных конструкций с толщиной вязкого слоя 1 мм и алюминиевой фольги 50 микрон (общее количество слоев – до 5). Увеличение количества слоев до 3 не дает эффекта по сравнению с однослойным покрытием (с такой же суммарной толщиной). Существенное увеличение коэффициента потерь достигается, когда в композиции 4 и 5 слоев (рис. 5).

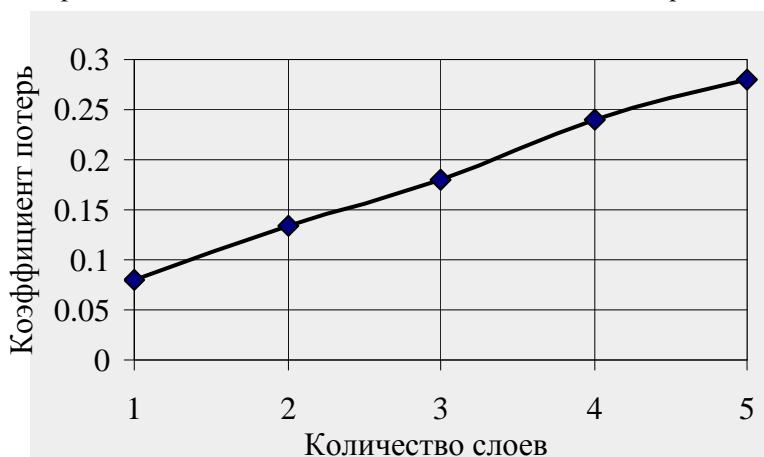


Рис. 5. Влияние количества слоев на демпфирующие свойства покрытия (частота 200 Гц)

Исследования влияния модуля упругости и толщины фольги на вибропоглощающие свойства покрытия показали, что увеличение толщины фольги с 40 до 100 микрон приведет к увеличению коэффициента потерь в 1,4 раза (рис. 6), что полностью совпадает с теоретическими данными.

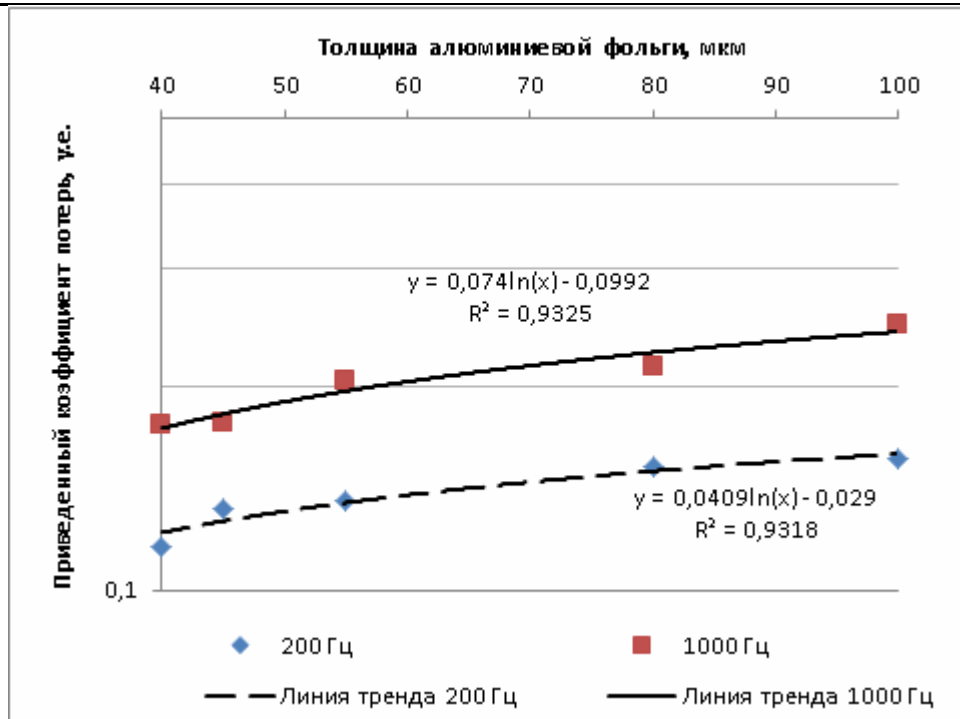


Рис. 6. Зависимость коэффициента потерь покрытия от толщины алюминиевой фольги

Теоретическая зависимость увеличения диссипативных свойств покрытия по мере роста модуля упругости армирующего материала (см. рис. 2) подтверждена экспериментально (рис. 7). Однако следует заметить, что данный эффект наблюдался только на частоте 1000 Гц, на частоте 200 Гц никелевое и стальное армирующие покрытия показали незначительное снижение диссипативных свойств покрытия. На частоте 1000 Гц увеличение коэффициента потерь в 1,2 раза дает замена алюминиевой фольги на стальную (см. рис. 7) и в 1,7 раза – при использовании никелевого армирующего слоя.

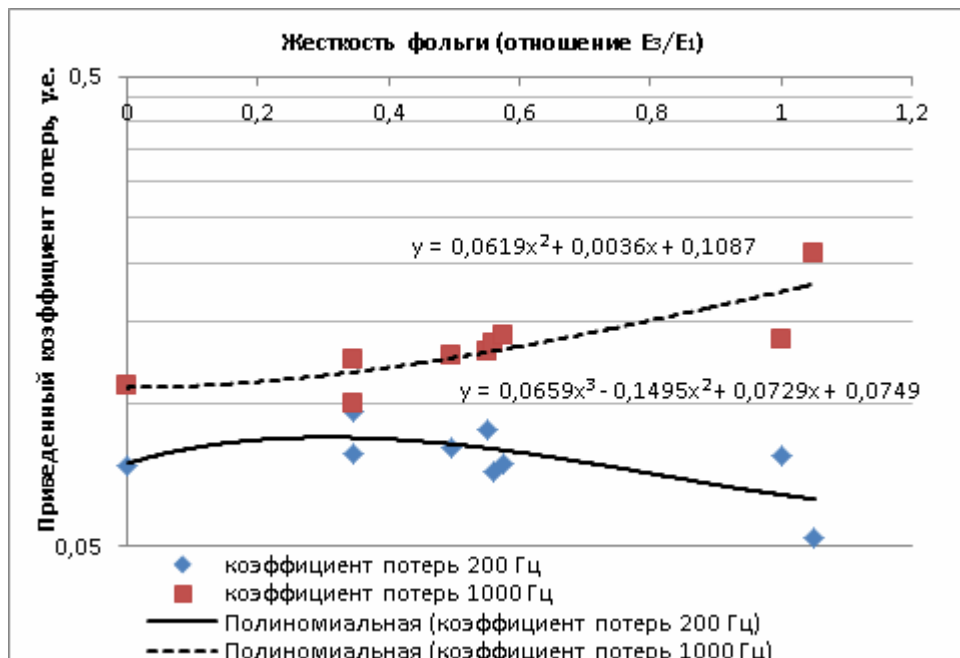


Рис. 7. Зависимость коэффициента потерь покрытия от жесткости фольги на частоте 200 и 1000 Гц

Таким образом, оптимизация конструкции вибропоглощающего покрытия позволяет в разы увеличить эффективность демпфирования колебаний, не прибегая к изменению рецептуры ПКМ.

Выводы

1. В результате исследований установлено, что наиболее эффективно однослойное покрытие толщиной не более 3 мм.
2. Увеличение толщины (до 100 микрон) армирующего покрытия приводит к повышению коэффициента потерь в 1,4 раза, причем применение стальной фольги предпочтительно по сравнению с алюминиевой. При необходимости значительного увеличения демпфирующих свойств покрытия возможно использование никелевого армирующего слоя.
3. Все теоретические зависимости подтверждены экспериментально.

Список литературы

1. СНиП 23-03-2003. Защита от шума. – Введ. 2003-06-30 / Государственный комитет Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу (ГосСтрой России). – М.: Управлением технического нормирования, стандартизации и сертификации в строительстве и ЖКХ Госстроя России, 2003. – 39 р.
2. Нильсен, Л. Механические свойства полимеров и полимерных композиций / Л. Нильсен. – М.: Химия, 1978. – 301 с.
3. Никифоров, А.С. Вибропоглощение на судах / А.С. Никифоров. – Л.: Судостроение, 1979. – 184 с.
4. Черкасов, В.Д. Оптимизация конструкций вибропоглощающих покрытий на основе неотверждаемых герметиков / В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, Е.А. Надькин // Кровельные и изоляционные материалы. – 2009. – №1. – С. 54–56.
5. Черкасов, В.Д. Битумно-каучуковое вяжущее для эффективных вибропоглощающих покрытий / В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин // Инженерно-строительный журнал. – 2013. – №8 (43). – URL: http://www.engstroy.spb.ru/index_2013_08/02.pdf. (Дата обращения: 20.08.2014).
6. Черкасов, В.Д. Вибропоглощающие покрытия, эффективно работающие в широком диапазоне температур / В.Д. Черкасов, Ю.В. Юркин, В.В. Авдонин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 46–49.

References

1. SNIP 23-03-2003. Protection against noise. – Permission. 2003-06-30. / Russian Federation State Committee for Construction, Housing and Utilities (GOSSTROY Russia). – М.: Office technical regulation, standardization and certification in the construction and housing Construction Committee of Russia, 2003. – 39.
2. Nielsen, L. Mechanical properties of polymers and polymer compositions / L. Nielsen. – М.: Chemistry, 1978. – 301 p.
3. Nikiforov, A.S. Vibration absorption on ships / A.S. Nikiforov. – L.: Shipbuilding, 1979. – 184 p.
4. Cherkasov, V.D. Optimization designs vibration-absorbing coatings based on non-curing sealants / V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, E.A. Nadkin // Roofing and insulation materials. – 2009. – №1. – P. 54–56.
5. Cherkasov, V.D. Bitumen-rubber binder for effective vibration-absorbing coatings / V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin // Civil Engineering Journal. – 2013. – №8 (43). – URL: http://www.engstroy.spb.ru/index_2013_08/02.pdf.
6. Cherkasov, V.D. Vibration coverage, effectively operating in a wide temperature range / V.D. Cherkasov, Y.V. Yurkin, V.V. Avdonin // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 46–49.

УДК 691.5

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

Рыжов Антон Дмитриевич,
аспирант кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: penza48@yandex.ru

Белгородский государственный
технологический университет
им. В.Г.Шухова

Россия, 308012, г. Белгород, ул. Костюкова, д.46
тел.: (4722) 54-20-87; факс: (4722) 55-71-39

Жерновский Игорь Владимирович,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры «Строительное
материаловедение, изделия
и конструкции»
E-mail: zhernovsky.igoi@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

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

Ryzhov Anton Dmitrievich,
Postgraduate of the department «Quality
management and construction technologies»
E-mail: penza48@yandex.ru

Belgorod State Technological University
after V.G.Shukhov

Russia, 308012, Belgorod, 46, Kostyukova St.,
tel.: (4722) 54-20-87; fax: (4722) 55-71-39

Zhernovsky Igor Vladimirovich,
Candidate of Geological and Mineralogical
Sciences, Associate Professor of the
department «Building materials, products and
structures»
E-mail: zhernovsky.igoi@mail.ru

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СИНТЕЗИРОВАННОЙ ДОБАВКИ НА ОСНОВЕ АМОРФНЫХ АЛЮМОСИЛИКАТОВ ДЛЯ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ*

В.И. Логанина, А.Д. Рыжов, И.В. Жерновский

Определены закономерности структурообразования известковых композиций с добавками синтезированных алюмосиликатов. Показано, что введение добавок алюмосиликатов способствует ускорению набора пластической прочности.

Ключевые слова: аморфные алюмосиликаты, состав, структурообразование, сухие строительные смеси, пластическая прочность

STRUCTURE AND PROPERTIES OF SYNTHETIC ADDITIVE BASED ON AMORPHOUS SILICA-ALUMINA FOR DRY CONSTRUCTION MIXTURES

V.I. Loganina, A.D. Ryzhov, I.V. Zhernovsky

The patterns of structuring lime compositions with synthesized aluminosilicate additives are defined. It is shown that introduction of aluminosilicates accelerates plastic strength set.

Keywords: amorphous aluminosilicates, composition, structure, dry mixes, plastic strength

Для регулирования структуры и свойств известковых сухих строительных смесей (ССС), предназначенных для реставрации зданий исторической застройки, а также отделки вновь возводимых объектов, в их рецептуру вводят различные модифицирую-

* Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках базовой части.

щие добавки. В работах [1–3] предлагается введение в состав ССС добавок на основе синтезированных гидросиликатов, алюмосиликатов, органоминеральных добавок.

В продолжение дальнейших исследований нами синтезирована добавка, содержащая аморфные алюмосиликаты. Синтез осуществлялся добавлением микродисперсных порошков алюминия в натриевое жидкое стекло при температуре 60 °С в течение 90 мин. В работе применяли жидкое натриевое стекло с силикатным модулем 2,9.

Синтезируемая добавка представляет собой легкий порошок светло-серого цвета (размер частиц 2–20 мкм), с насыпной плотностью $0,55 \pm 0,05$ г/см³. В ходе синтеза добавки образуется большое количество газообразного молекулярного водорода, который создает в добавке поры различного размера и формы [4]. Выход готового продукта составляет 90 %.

Для оценки минералогического состава синтезируемой добавки был проведен рентгенофазовый анализ. Для съемки рентгенограмм образцов и проведения рентгенофлуоресцентного анализа использовалась рентгеновская рабочая станция ARL 9900 WorkStation. Рентгенограммы получены на излучении кобальтового анода. Рентгенометрическая диагностика минеральных фаз проведена на основании дифракционной базы банных PDF-2 с применением программы Crystallographica SearchMatch v 2,0,2,0 (Oxford Cryosystems). Количественное определение концентраций кристаллических минеральных образований выполнено полнопрофильным РФА с применением программы DDM v.1.95d. В таблице приведен химический состав синтезируемой добавки.

Установлено, что минеральный состав образца, в основном, представлен кристаллическими разновидностями гидроокислов алюминия – байеритом (*bayerite*) – α -Al(OH)₃ и бёмитом (*boehmite*) – γ -AlO(OH). Кроме того, на рентгенограмме присутствуют отражения металлического алюминия.

Для проведения количественного полнопрофильного РФА использованы структурные модели этих фаз их международной структурной базы данных: байерит (ICSD-26830), бёмит (ICSD-93732) и алюминий (ICSD-43423).

Химический состав добавки

Наименование оксида	Содержание, %	Погрешность
Al ₂ O ₃	51.03	0.25
SiO ₂	36.36	0.24
Na ₂ O	11.89	0.16
Fe ₂ O ₃	0.110	0.006
CaO	0.107	0.005
MgO	0.105	0.005
SO ₃	0.0290	0.0014
TiO ₂	0.0124	0.0008
K ₂ O	0.0112	0.0008
Σ	99.6546	

Результаты полнопрофильного расчета рентгенограммы образца добавки приведены на рис.1.

Характерной особенностью рентгенограммы является довольно протяженная (в угловом отношении) линия фона, которую можно интерпретировать как результат рассеяния рентгеновских лучей от наноструктурированной аморфной фазы. Исходя из данных по химическому составу, можно предположить, что эта аморфная фаза, вероятно, может быть представлена наноструктурированным аморфным алюмосиликатом.

Синтезируемые алюмосиликаты были применены при изготовлении известкового композиционного вяжущего (ИКВ). Содержание добавки составляло 1-30 % от массы извести. В работе применяли известь 2 сорта с активностью 84 %.

Установлено, что известковое композиционное вяжущее характеризуется более быстрым набором пластической прочности. Так, значение пластической прочности при содержании добавки 10 % от массы извести спустя 8 часов твердения составляет

$\tau = 0,019135$ МПа (рис. 2, кривая 3), а у контрольного состава (без добавки) $\tau = 0,001004$ МПа (рис. 2, кривая 6). С увеличением содержания добавки пластическая прочность возрастает. При содержании добавки 20 % от массы извести пластическая прочность уже в возрасте 1 ч с момента приготовления составляет $\tau = 0,1576$ МПа.

Минеральный состав образца на основе ИКВ представлен портландитом – $\text{Ca}(\text{OH})_2$, тремя известными полиморфами карбоната кальция CaCO_3 – кальцитом, арагонитом и ватеритом. Кроме того, обнаружена фаза (первое широкое отражение на рентгенограмме), которая с большой долей вероятности может быть отнесена к гидроалюминату кальция (Calcium Dialuminium Diaquaoctahydroxide 1.84-hydrate) – $\text{CaAl}_2((\text{OH})_8(\text{H}_2\text{O})_2)(\text{H}_2\text{O})_{1,84}$.

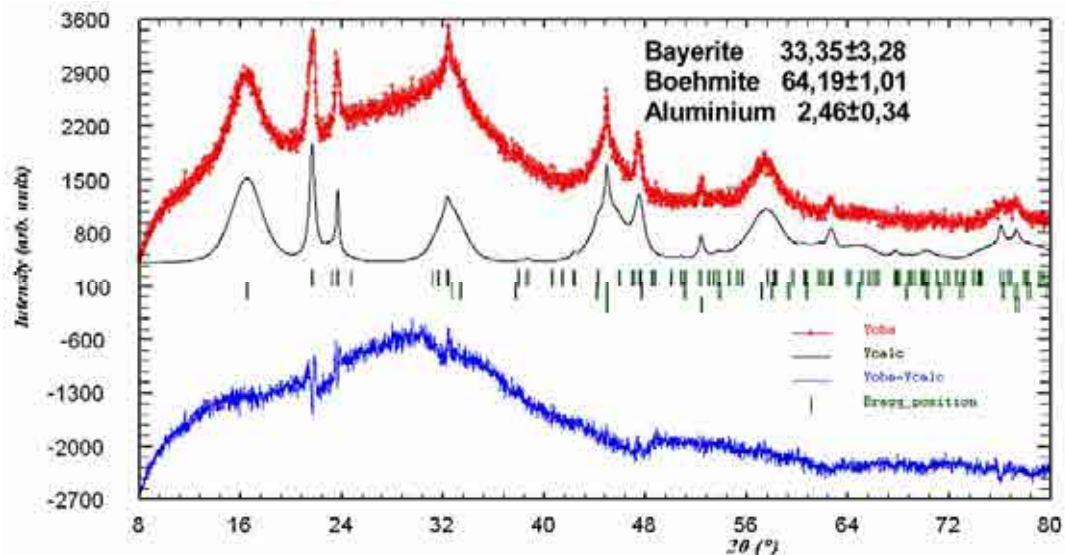


Рис. 1. Полнопрофильный расчет рентгенограммы образца алюмосиликатов

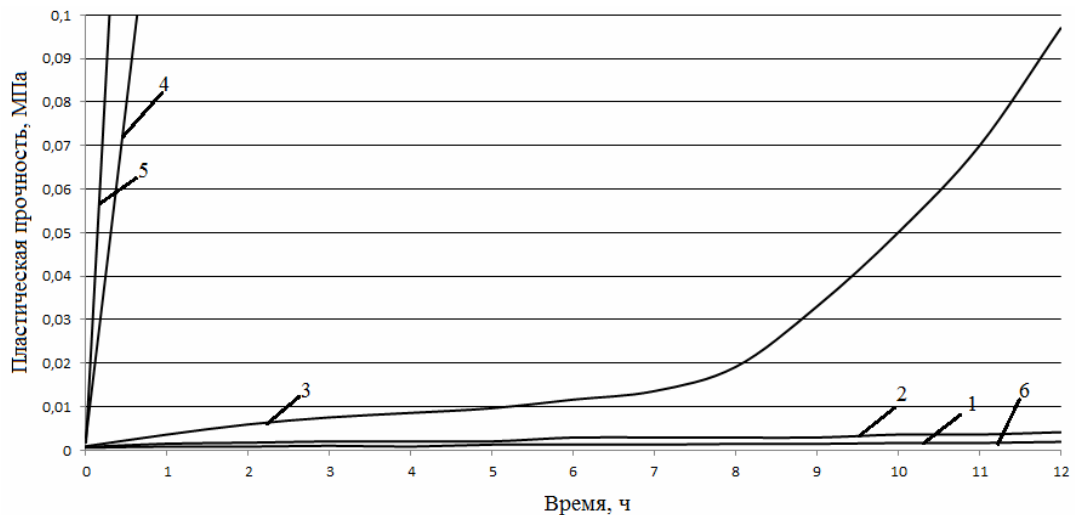


Рис. 2. Изменение пластической прочности известкового теста:

- 1 – содержание синтезируемой добавки 1 % от массы извести;
- 2 – содержание синтезируемой добавки 5 % от массы извести; 3 – содержание синтезируемой добавки 10 % от массы извести; 4 – содержание синтезируемой добавки 20 % от массы извести; 5 – содержание синтезируемой добавки 30 % от массы извести;
- 6 – контрольный образец (без содержания синтезируемой добавки)

Для проведения количественного полнопрофильного РФА использованы структурные модели этих фаз их международной структурной базы данных: портландит (ICSD-15471), кальцит (ICSD-18164), ватерит (ICSD-27827), арагонит (ICSD-32100) и Calcium Dialuminium Diaquaoctahydroxide 1.84-hydrate (ICSD-407150).

Результаты полнопрофильного расчета рентгенограммы образца на основе ИКВ приведены на рис.3.

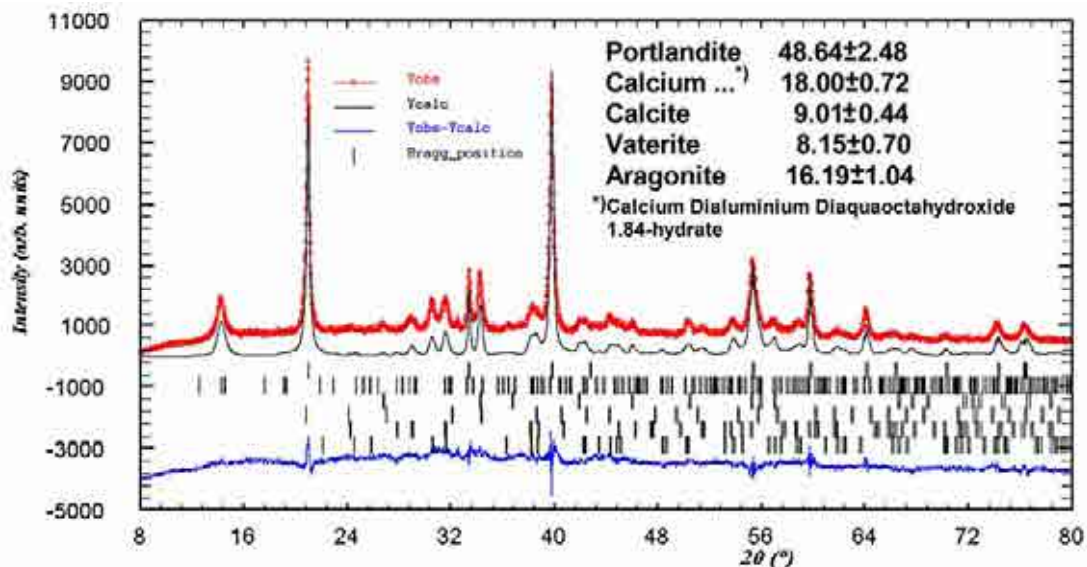


Рис. 3. Полнопрофильный расчет рентгенограммы образца на основе ИКВ

Таким образом, проведенные исследования показали эффективность применения синтезируемой добавки на основе аморфных алюмосиликатов в рецептуре известковых композиций, применяемых для реставрации и ремонта стен зданий.

Список литературы

1. Логанина, В.И. Разработка органоминеральной добавки для сухих строительных смесей / В.И. Логанина, Н.А. Петухова, Э.Р. Акжигитова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2011. – №3. – С.8–12.
2. Логанина, В.И. Известковые отделочные составы с применением синтезированных наполнителей / В.И. Логанина, С.Н. Кислицына, И.В. Жерновский, М.А. Садовникова // Вестник БГТУ им. В.Г.Шухова. – 2014. – №2. – С.55–57.
3. Логанина, В.И. Повышение водостойкости покрытий на основе известковых отделочных составов / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, С.Н. Кислицына, К.А. Сергеева // Известия вузов. Строительство. – 2012. – №1. – С.41–47.
4. Шилина, А.С. Сорбционные свойства нового типа алюмосиликатного сорбента / А.С. Шилина, В.К. Милинчук // Известия вузов. Ядерная энергетика. – 2008. – № 3. – С.24–30.

References

1. Loganina, V.I. Development of organic-additive for dry construction mixtures / V.I. Loganina, N.A. Petuhova, E.R. Akzhigitova // Herald BSTU. Shukhov. – 2011. – № 3. – P.8–12.
2. Loganina, V.I. Lime finishing compositions using synthesized fillers / V.I. Loganina, S.N. Kislitsina, I.V. Zhernovski, M.A. Sadovnikov // Herald BSTU. Shukhov. – 2014. – № 2. – P.55–57.
3. Loganina, V.I. Increase the water resistance of coatings based on lime finishing compositions / V.I. Loganina, L.V. Makarova, S.N. Kislitsina, K.A. Sergeeva // Proceedings of the universities. Construction. – 2012. – № 1. – P.41–47.
4. Shilina, A.S. Sorption properties of a new type of aluminosilicate sorbent / A.S. Shilina, V.K. Milinchuk // Proceedings of the universities. Nuclear power. – 2008. – № 3. – P. 24–30.

УДК 691.327:539.4

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

Максимова Ирина Николаевна,
кандидат технических наук, профессор
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»

Скачков Юрий Петрович,
доктор технических наук, ректор,
профессор кафедры «Строительные
конструкции»

Тамбовцева Елена Александровна,
магистрант

*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 the technology of the construction
production»
E-mail: maksimovain@mail.ru

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

Skachkov Yuriy Petrovich,
Doctor of Sciences, Rector, Professor of the
department « Building constructions»

Tambovzeva Elena Aleksandrovna,
undergraduate

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ МОДИФИЦИРОВАННОЙ СТРУКТУРЫ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ РАЗНОГО ВОЗРАСТА

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, Е.А. Тамбовцева

Представлены результаты анализа экспериментально полученных параметров механики разрушения цементного камня, используемого в качестве матричной фазы конструкционных бетонов.

Ключевые слова: цементный камень, структура, диаграмма нагружения, процесс разрушения, акустическая эмиссия, параметры разрушения

INTEGRATED EVALUATION OF MODIFIED STRUCTURE MECHANICS OF CEMENT STONE OF DIFFERENT AGE

I.N. Maksimova, N.I. Makridin, Yu.P. Skashkov, E.A. Tambovzeva

The results of the analysis of the experimentally obtained parameters of cement stone destruction mechanics used as the matrix phase of structural concrete are presented.

Keywords: cement stone, structure, diagram of loading, the process of destruction, acoustic emission parameters of fracture

Ранее в работах [1, 2] были представлены результаты анализа экспериментально полученных параметров конструкционной прочности природных каменных материалов с идентификацией процесса их разрушения по методу акустической эмиссии (АЭ), характеризующих в совокупности механическое поведение этих материалов с позиций структурной механики разрушения.

В данной работе представлены результаты экспериментальной оценки механических критериев разрушения и закономерности изменения генерируемых ультразвуково-

вых (УЗ) импульсов АЭ в зависимости от интенсивности нагружения при неравновесных механических испытаниях на трехточечный изгиб опытных образцов цементного камня типа I по ГОСТ 29167–91 с начальным надрезом глубиной 13 мм, получаемым при формовании образцов путем закладывания стальной пластины с профилем острой трещины.

Для изготовления опытных образцов цементного камня был использован бездобавочный сульфатостойкий портландцемент марки 400 Вольского завода с нормальной густотой 24 %. Было изготовлено три серии образцов типа I размером 4×4×16 см с В/Ц=0,24; по пятнадцать образцов в каждой серии. При этом две серии образцов были приготовлены с использованием суперпластификатора (СП) С-3 с дозировкой в количестве 0,5 и 1 % от массы цемента соответственно. СП С-3 названной дозировки растворяли в воде затворения, а затем приготавливали цементное тесто сравниваемых составов путем двухстадийного перетираания и дозирования воды затворения по 5 минут.

Формование образцов осуществляли на лабораторной виброплощадке со стандартными параметрами вибрации в течение 3–5 с. Отформованные образцы размещали над водой в закрытой гидравлической ванне. После выдержки в течение 17 часов образцы подвергали в лаборатории тепловлажностной обработке по режиму: подъем температуры 2 ч, изотермическая выдержка 8 ч при 85–90 °С, естественное остывание образцов в пропарочной камере. Далее образцы находились в естественных лабораторных условиях, где в зависимости от сезона температура и относительная влажность изменялись в диапазоне 8–24 °С, 56–90 % соответственно.

Кинетику изменения физико-механических свойств цементного камня на образцах серии 1–3 наблюдали в течение 18 лет. Следует отметить, что оценку контролируемых параметров во все сроки испытаний проводили в лаборатории при температуре (20±2) °С и относительной влажности 58–60 %.

В таблице приведены экспериментально полученные показатели качества сравниваемых серий образцов в возрасте 28, 420 суток и 18 лет.

Параметры качества цементного камня	Показатели качества сравниваемых серий образцов в возрасте		
	28 суток	420 суток	18 лет
Серия 1			
$R_{СЖ}$, МПа	76,7	87,5	90,0
$R_{РИ}$, МПа	5,19	6,38	5,35
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,51	0,626	0,525
G_C , Дж·м ⁻²	–	85,6	115,6
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,17	0,21	0,79
Серия 2			
$R_{СЖ}$, МПа	68,2	74,5	81,8
$R_{РИ}$, МПа	3,88	6,69	6,53
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,381	0,656	0,641
G_C , Дж·м ⁻²	–	75,3	122,7
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,108	0,27	0,39
Серия 3			
$R_{СЖ}$, МПа	94,1	103,2	104,7
$R_{РИ}$, МПа	3,98	6,9	6,18
K_{IC} , МПа·м ^{0,5}	0,392	0,677	0,606
G_C , Дж·м ⁻²	–	94,2	159,6
$\mathcal{E}_{АЭ}$, В ² ·см ⁻²	0,102	0,136	0,47

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

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

где P_C^* – максимальная (разрушающая) нагрузка, Н; L – расстояние между опорами, м; t и b – соответственно, ширина и высота сечения, м; $\lambda = a/b$ – относительная длина надреза. Условный критический коэффициент интенсивности напряжений K_C^* , МПа·м^{0,5}, вычисляли по зависимости (9) ГОСТ 29167–91. Энергетические характеристики трещиностойкости G_C , Дж/м², определяли по формуле $G_C = A_C/F$, где A_C – полная работа разрушения, Дж; F – площадь разрушения, м². В свою очередь, $A_C = P_C^* \cdot f$, где f – прогиб образца, м. Энергию акустической эмиссии $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$ как акустический критерий трещиностойкости образцов, В²·см², определяли по [3] путем отношения зафиксированной акустико-эмиссионным устройством $\mathcal{E}_{\text{АЭ}}$, В², при нагружении образца до разрушения, к поверхности его разрушения, см².

Анализ численных значений механических, энергетических и акустических параметров, приведенных в таблице, свидетельствует о заметном изменении этих параметров во времени в зависимости от количественной дозировки СП. Так, в возрасте 28 суток проектное значение прочностей $R_{\text{сж}}$ и $R_{\text{ри}}$ для образцов серии 1, то есть без СП С-3, составляли, соответственно, 76,7 и 5,19 МПа; для образцов серии 2 с дозировкой СП С-3 в количестве 1 % $R_{\text{сж}}$ и $R_{\text{ри}}$ составляли, соответственно, 68,2 и 3,88 МПа, т.е. значения ниже, чем у образцов контрольной серии 1. У образцов серии 3 с дозировкой СП С-3 0,5 % $R_{\text{сж}}$ составляло 94,1 МПа, что выше, чем у контрольной серии 1, а $R_{\text{ри}}$ – 3,98 МПа, что ниже контрольного значения.

Анализ значений $R_{\text{сж}}$ и $R_{\text{ри}}$ в возрасте 420 суток и 18 лет позволяет также констатировать влияние количественной дозировки СП на характер и величину изменения $R_{\text{сж}}$ и $R_{\text{ри}}$ в контролируемом временном интервале, что, вероятно, объясняется, с одной стороны, диспергацией продуктов гидратации цементного камня, а с другой, – проявлением стерического фактора СП между наногидросиликатами твердеющего вяжущего, особенно в начальные сроки твердения при избытке добавки С-3. Аналогичное влияние дозировка СП оказывает и на временную зависимость изменения величин коэффициента интенсивности напряжения K_{IC} сравниваемых образцов серий 1–3.

В данной работе в те же возрастные сроки твердения контролировали также зависимости изменения генерируемых УЗ импульсов АЭ на диаграмме нагружения опытных образцов типа I сравниваемых серий.

В опытах регистрировали амплитуды импульсов АЭ на двух уровнях A_1 и A_2 после предусилителя: первый уровень – в диапазоне 0,05–0,5 В, второй уровень – выше 0,5 В. Излучение импульсов АЭ отражает развитие деформирования и разрушения материала на разных масштабных уровнях и разную природу генерируемых сигналов АЭ, в основе которых лежат различные физические явления: пластические деформации и фазовые переходы, характеризующиеся УЗ импульсами АЭ относительно малой амплитуды A_1 ; возникновение и развитие дефектов структуры материала излучают сигналы АЭ относительно большей амплитуды A_2 . Измерение параметров указанных импульсов позволяет не только обнаруживать развитие дефектов и оценивать механическое поведение и параметры предельного состояния структуры, но и выявлять параметры материала, определяющие его трещиностойкость, понимание которых позволяет указать оптимальные пути создания бетонов нового поколения.

Нагружение образцов типа I производили степенями в 0,1 ожидаемой прочности при изгибе. Скорость движения подвижного захвата испытательной машины FM-1000 во всех опытах была одинаковой и составляла $166 \cdot 10^{-7}$ м/с. На каждой ступени нагружения образцы выдерживали в течение 1–2 минут до прекращения АЭ.

На рис. 1–3 представлены: кинетика развития сигналов АЭ N_1 и N_2 с дискриминационными амплитудами, соответственно, A_1 и A_2 , и соотношение количества УЗ импульсов N_1/N_2 малых и больших амплитуд на кривой нагружения опытных образцов цементного камня сравниваемых серий, по которым проводили идентификацию процесса разрушения в реальном масштабе времени.

Анализ зависимостей изменения генерируемых сигналов N_1 и N_2 от интенсивности нагружения для образцов цементного камня в возрастном диапазоне от 28 суток до 18 лет, когда упрочнение структуры во времени связано с переходом части адгезионных контактов электромагнитной и электростатической природы в кристаллизационные связи валентной природы [4], что, с одной стороны, является подтверждением роста проектной прочности $R_{СЖ}$ и особенно $R_{РИ}$ образцов серии 2 и 3 (см. таблицу), а с другой – свидетельствует о принципиально ином качественном и количественном характере изменения генерируемых ультразвуковых импульсов АЭ образцами сравниваемых серий, обусловленных возникновением кристаллизационных связей валентной природы в гидратационной модифицированной наноструктуре гидросиликатов цементного камня, обладающих значительно большей энергией связи, что экспериментально подтверждается значительным увеличением выделяющейся энергии АЭ в B^2/cm^2 на диаграмме нагружения образцов сравниваемых серий.

Сравнивая зависимости изменения генерируемых УЗ импульсов АЭ от интенсивности нагружения образцов серии 1–3 в возрасте цементного камня 28 суток, отличающихся друг от друга количественной дозировкой СП С-3, следует отметить, что незначительное излучение УЗ импульсов вплоть до уровня нагружения $0,95–0,96 R_{РИ}$ обусловлено наличием достаточного количества адгезионных контактов электромагнитной и электростатической природы в наноструктуре цементного камня, отличающихся слабой акустической «шумностью», что особенно характерно для образцов серии 2 и 3 с дозировкой СП С-3, соответственно, в количестве 1 и 0,5 % от массы цемента.

Анализ зависимостей генерируемых сигналов АЭ от интенсивности нагружения для образцов цементного камня в возрасте 420 суток и 18 лет, когда в структуре цементного камня в полной мере проявляются как кристаллизационные связи валентной природы, так и собственные деформации и собственные напряжения, позволяет констатировать, что акустический параметр отношения $N_1(A_1)/N_2(A_2)$ твердеющей дисперсно-кристаллитной структуры, отражающий на диаграмме нагружения в общем случае вклад пластической и упругой составляющей в суммарный процесс деформирования и разрушения при предельном уровне нагружения $0,94–0,97 R_{РИ}$, в возрасте 420 суток составлял 4,2; 3,6 и 2,2, а в возрасте 18 лет – 3,3; 3,6 и 2,82 соответственно, для образцов серии 1–3, что, в свою очередь, позволяет говорить о тенденции повышения вязкости разрушения модифицированной структуры цементного камня многолетнего твердения.

Таким образом, информацию, полученную с помощью метода АЭ, можно положить в основу идентификации процесса разрушения цементного композита под воздействием нагрузки с достаточно четкой идентификацией пластической и упругой составляющей процесса по численным значениям акустического параметра $N_1(A_1)/N_2(A_2)$ на кривой нагружения, значения которого достаточно четко отражают влияние количественной дозировки С-3 на формирование дисперсно-кристаллитной структуры цементного камня и ее механическое поведение под нагрузкой. Полученная информация приближает исследователя к пониманию самого процесса

разрушения и выявлению параметров материала, определяющих его трещиностойкость, и позволяет на этой основе осуществлять рациональную оптимизацию структуры и технологию создания цементных систем с определёнными свойствами, заранее заданными в некоторых пределах.

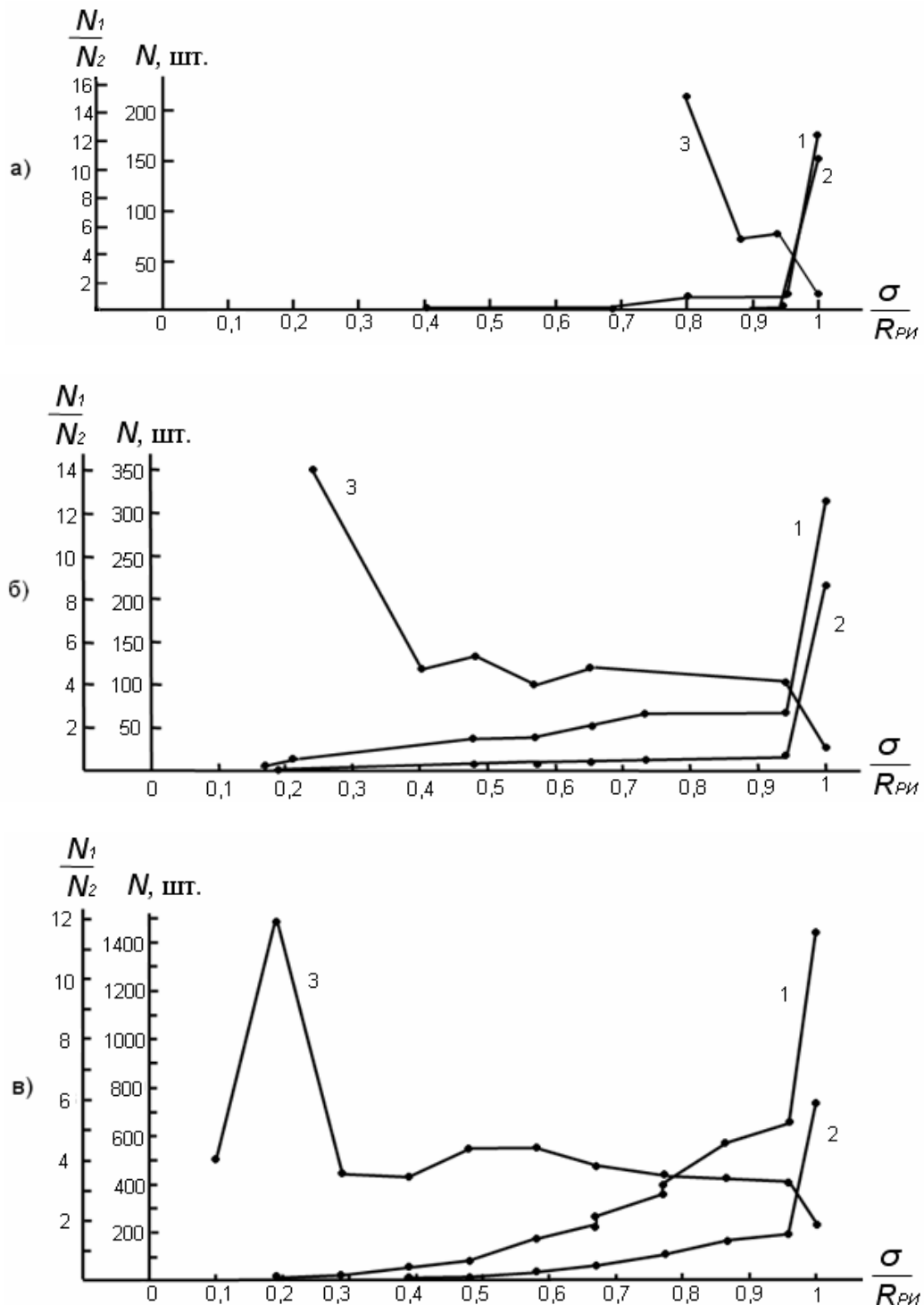


Рис. 1. Зависимость количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ соответственно с амплитудами A_1 и A_2 и отношения N_1/N_2 от интенсивности нагружения образцов серии 1:
 1 – амплитуда сигнала АЭ $A_1=0,05-0,50$ В; 2 – амплитуда сигнала АЭ $A_2>0,50$ В;
 3 – отношение количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ;
 а – возраст цементного камня 28 суток; б – то же – 420 суток; в – то же – 18 лет

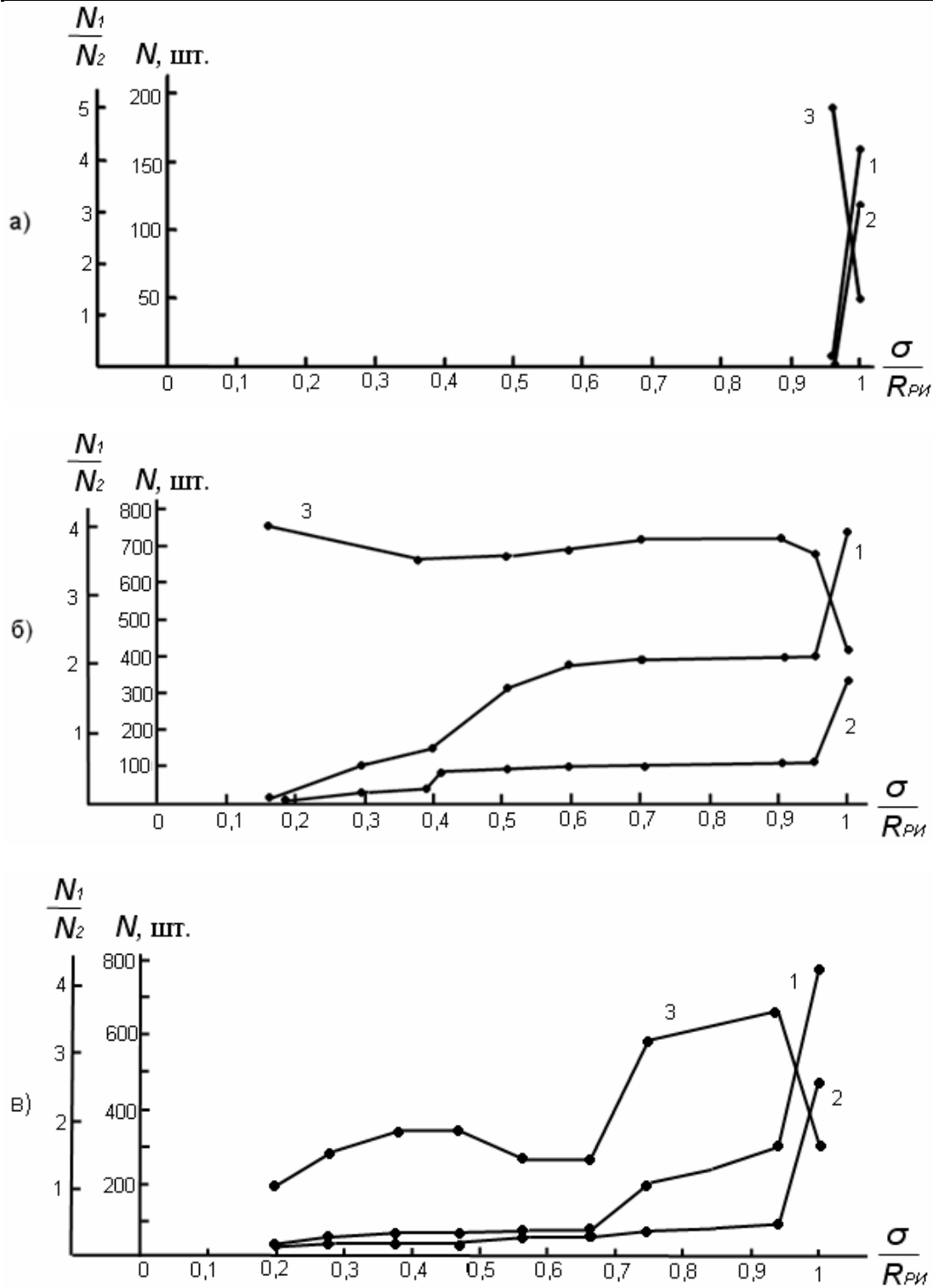


Рис. 2. Зависимость количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ соответственно с амплитудами A_1 и A_2 и отношения N_1/N_2 от интенсивности нагружения образцов серии 2:
 1 – амплитуда сигнала АЭ $A_1=0,05-0,50$ В; 2 – амплитуда сигнала АЭ $A_2>0,50$ В;
 3 – отношение количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ;
 а – возраст цементного камня 28 суток; б – то же – 420 суток; в – то же – 18 лет

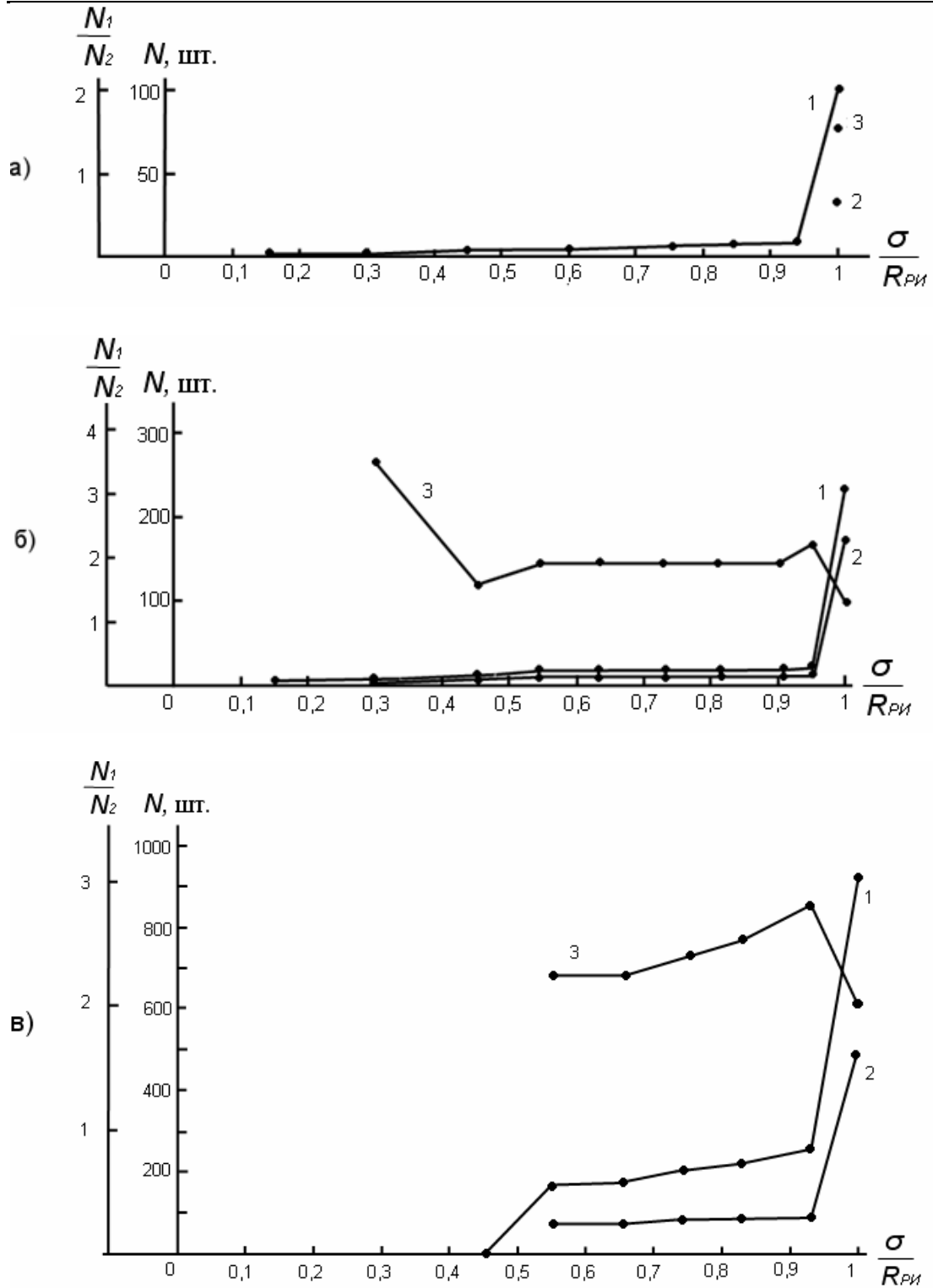


Рис. 3. Зависимость количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ соответственно с амплитудами A_1 и A_2 и отношения N_1/N_2 от интенсивности нагружения образцов серии 3:
 1 – амплитуда сигнала АЭ $A_1=0,05-0,50$ В; 2 – амплитуда сигнала АЭ $A_2>0,50$ В;
 3 – отношение количества (N_1 и N_2) сигналов АЭ;
 а – возраст цементного камня 28 суток; б – то же – 420 суток; в – то же – 18 лет

Список литературы

1. Макридин, Н.И. Комплексная оценка механического поведения заполнителей бетона из горных пород / Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3 (14). – С. 18–26.
2. Макридин, Н.И. Комплексная оценка механического поведения заполнителей бетона из горных пород. Часть 2. Идентификация процесса разрушения / Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2 (16). – С. 4–12.
3. Макридин, Н.И. Структурообразование и конструкционная прочность цементных композитов / Н.И. Макридин, Е.В. Королев, И.Н. Максимова. – М.: МГСУ, 2013. – 152 с.
4. Сычев, М.М. Твердение вяжущих веществ / М.М. Сычев. – Л., 1974. – 80 с.

References

1. Makridin, N.I. Integrated assessment of the mechanical behaviour of concrete aggregate of rocks / N.I. Makridin, Ju.P. Skachkov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Regional architecture and construction. – 2012. – №3 (14). – P. 18–26.
2. Makridin, N.I. Integrated assessment of the mechanical behaviour of concrete aggregate from rocks. Part 2. The identity of the process of destruction / N.I. Makridin, Ju.P. Skachkov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Regional architecture and construction. – 2013. – №2 (16). – P. 4–12.
3. Makridin, N.I. Cross-linking and structural strength of cement composites / N.I. Makridin, E.V. Korolev, I.N. Maksimova. – M.: MGSU, 2013. – 152 p.
4. Sychev, M.M. Hardening binders / M.M. Sychev. – L., 1974. – 80 p.

УДК 691.21

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, профессор
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»

Суров Иван Александрович,
аспирант кафедры «Технологии
строительных материалов
и деревообработки»

*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 the technology of the construction
production»
E-mail: maksimovain@mail.ru

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

Surov Ivan Aleksandrovich,
Postgraduate of the department «Technologies
of building materials and wood processing»

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ЦЕМЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

И.Н. Максимова, Н.И. Макридин, И.А. Суров

Приведен сравнительный анализ двух методологических подходов к прогностической оценке механического поведения каменных материалов.

Ключевые слова: бетон, методы испытания, прочность, деформативность, трещиностойкость, механическое поведение, акустическая эмиссия

METHODOLOGICAL ASPECTS OF FORECASTING OF MECHANICAL BEHAVIOR OF CEMENT COMPOSITES

I.N. Maksimova, N.I. Makridin, I.A.Surov

The comparative analysis of two methodological approaches in the forecasting estimation of mechanical behavior of rock materials is given.

Keywords: concrete, methods for testing, strength, deformation, resistance to cracks, mechanical behavior, acoustic emission

Известно, что основной задачей науки о материалах является создание материала с определенными свойствами, заранее заданными в некоторых пределах. Для строительных материалов конструкционного назначения, к которым относится прежде всего бетон, таким свойством является прочность, так как прочность цементного камня и бетона на его основе – это важнейший показатель их структуры, определяющий практически все остальные свойства этих материалов и, следовательно, область их применения. Формируя ту или иную структуру, изменяя ее характер и особенности, можно менять свойства бетонов в достаточно широких пределах. Прочность является и основным параметром бетона, на который ориентируются при подборе его состава, несмотря на то, что механические характеристики являются малоэффективными параметрами состояния его структуры при диагностике конструкционных материалов, так как не учитывают изменения прочностных и деформативных свойств бетонов под влиянием временных процессов микротрещинообразования при силовых и несиловых

воздействиях. При этом следует учитывать, что прочность является структурно-чувствительной характеристикой, – это значит, что макроскопические механические свойства многофазных материалов, к которым относятся бетоны, не соответствуют усредненным значениям этих свойств, присущих микроскопическим структурным фазам.

В связи с интенсивной разработкой и практическим внедрением в современную строительную практику бетонов нового поколения, основанных на модели высокой плотности бетона и коррекции свойств цемента ультратонкими частицами с целью его гранулометрической оптимизации как специально отобранными пуццоланами, так и без микрокремнезема, при переходе от технологии оптимизации цемента Microdur к технологии цемента Nanodur [1, 2], перед строительным материаловедением стоит задача не только создания бетонов высокой и сверхвысокой прочности, но и реализации основной идеи композитных материалов, заключающейся в соединении высокой прочности с хорошей трещиностойкостью (вязкостью разрушения), для которых оценка действительных предельных состояний структуры приобретает особую научную и практическую значимость, так как из механики материалов известно, что высокопрочные материалы обладают малой трещиностойкостью и остаточной прочностью при наличии дефектов структуры.

Теоретической основой современного строительного материаловедения как прикладной науки о связи технологии, состава, структуры и свойств материалов являются соответствующие закономерности физики и химии поверхностных явлений и теории контактных взаимодействий, физико-химической механики дисперсных систем, технологической и структурной механики гетерогенных конденсационно-кристаллизационных материалов.

Однако наука о композитных материалах в основном развивается экспериментальным путем. Как известно, целью испытания материалов является описание их свойств по характерным признакам и выражение этих признаков в количественной форме в виде определенных параметров, разработка и создание теорий деформативности и прочности бетонов, которые лежат в основе методов расчета конструкций и выбора, в частности, конструкционных материалов для какой-либо определенной цели.

Вместе с тем методы расчета строительных конструкций, основанные на теориях деформации и прочности бетона, имеют целью не допустить наступления предельных состояний по трещиностойкости, деформациям и прочности в сечениях конструкций при эксплуатации в течение всего срока службы здания и сооружения.

В связи с этим полная и действенная программа оценки материалов должна давать информацию, необходимую для прогнозирования с достаточной точностью срока службы и вероятности их разрушения с учетом всех факторов, влияющих на возможное поведение материалов при эксплуатации.

Таким образом, разработка и использование соответствующих методик являются основными предпосылками эффективной программы оценки свойств материалов и дальнейшего улучшения понимания этих свойств.

Поэтому изучение и разработка процессов управляемого структурообразования бетонов и новых методов исследования его структуры и механического поведения под нагрузкой имеют важное значение и будут способствовать как развитию науки о бетоне, так и повышению достоверности таких испытаний.

Основные достижения в изучении прочности и механического поведения твердых тел при силовом воздействии получены при использовании концепции механики сплошной среды, т.е. континуальной модели деформируемого твердого тела, и концепции структурной механики разрушения, т.е. более реалистичной модели технического материала, содержащего небольшие трещины и пустоты, а также неоднородности структуры, которые легко вызывают образование дефектов при нагружении.

Нормы проектирования бетонных и железобетонных конструкций основаны на методических положениях по определению важнейших прочностных, структурных и деформативных характеристик бетонов с использованием концепции континуальной модели деформируемого твердого тела, позволяющих унифицировать методы испытаний бетона, сопоставлять результаты испытаний и обобщать их при разработке нор-

мативных документов. Методические рекомендации [3] определяют требования, касающиеся правил и методов проведения статических испытаний бетона, определения его прочностных и деформативных характеристик: прочности на сжатие контрольных кубов и призмной прочности; прочности на осевое растяжение, на растяжение при изгибе и раскалывании; начального модуля упругости и модуля деформации бетона при сжатии и растяжении; упругой характеристики на диаграмме нагружения; сопротивления микротрещинообразованию бетона при сжатии с оценкой уровней расположения его параметрических точек R_T^0 и R_T^V , коэффициента поперечных относительных деформаций ν и дифференциального коэффициента поперечных относительных деформаций $\Delta\nu$; объемного относительного изменения бетона при сжатии θ и его дифференциального приращения $\Delta\theta$ при кратковременном нагружении; длительного сопротивления бетона, его предельной деформации при сжатии и растяжении, а также коэффициента поперечной деформации при сжатии в условиях длительного нагружения.

Исходные положения структурной механики разрушения заключаются в том, что разрушение опытных образцов или элементов конструкции всегда есть следствие развития технологических или эксплуатационных дефектов. Учитывая влияние этих дефектов как при анализе напряженного состояния конструктивных элементов, так и при определении параметров трещиностойкости материала при испытаниях образцов с нанесенной трещиной, механика разрушения дает возможность устанавливать количественную связь между номинальным напряжением, формой и размером данного дефекта и сопротивлением материала разрушению. Именно в этом заключается принципиальная основа использования данных методов испытаний при выборе материала, определении размера детали, прогнозировании надежности и долговечности.

Современное развитие структурной механики материалов позволило установить научные принципы оценки материалов и методов испытания и предложить в совокупности силовые, деформационные и энергетические критерии, определяющие действительные предельные состояния их структуры по прочности, деформативности и трещиностойкости и тем самым позволяющие точнее прогнозировать механическое поведение и работоспособность конструкционного материала под нагрузкой [4–7].

Вместе с тем решение задач повышения качества бетона и эффективности конструкций на его основе невозможно без дальнейшего развития физических представлений о природе и кинетике процесса разрушения бетона под нагрузкой в рамках его структурной механики как композиционного материала.

Одним из путей дальнейшего выяснения природы механического поведения бетона под нагрузкой может служить новый подход к проблеме прочности, в основе которого лежит детальное изучение самого процесса разрушения с позиций физики и механики разрушения бетона.

Следует отметить, что трещиностойкость является важнейшим параметром прочности, характеризует способность структуры материала сопротивляться началу движения и развитию трещин при механических и других силовых воздействиях и является важнейшим параметром предельного состояния структуры. Изучение этого параметра прочности привлекает внимание исследователей своей фундаментальностью, практической важностью и возможностью разработки в рамках механики разрушения подходов, которые позволяли бы указать технологам оптимальные пути создания конструкционного бетона нового поколения и реализации основной идеи композиционных строительных материалов, заключающейся, как отмечено выше, в соединении высокой прочности с хорошей вязкостью разрушения.

В выявлении закономерностей микро- и макроразрушения в нагруженном материале значительная роль принадлежит методам и средствам их оценки. Если в качестве параметров состояния материала выбрать параметры дефектов его структуры, то на основе концепции кинетической природы прочности и технической диагностики для оценки параметров необходимо в качестве диагностических сигналов выбрать характеристики тех физических процессов, которые сопровождают развитие дефектов.

Таковыми процессами могут быть излучение или эмиссия волн напряжений, обусловленная возникновением или развитием дефектов структуры материала [8]. Эффект излучения акустических (упругих) волн различными твердыми телами, подвергаемыми механическому нагружению, проявляется в виде случайно распределенных сигналов ультразвуковых импульсов относительно малой и большой амплитуды.

В работах [9, 10] выявлен характер изменения амплитудно-энергетического распределения ультразвуковых импульсов акустической эмиссии (АЭ) и соотношения $N_1(A_1)/N_2(A_2)$ на кривой нагружения как акустических параметров, отражающих развитие деформирования и разрушения материала на разных масштабных уровнях, в основе которых лежат различные физические явления, и являющихся различными прогностическими параметрами структуры материала при силовом воздействии. Эти результаты могут быть положены в основу получения новых физически обоснованных параметров механического поведения и классификации каменных материалов по трещиностойкости.

Измерение параметров указанных импульсов и изучение характера их изменения на диаграмме нагружения позволяет не только обнаружить развитие дефектов и оценить механическое поведение и параметры предельного состояния структуры, но и тщательно контролировать отклонения от линейной упругости в вершине трещины и выявлять параметры материала, определяющие его трещиностойкость, которые необходимо учитывать при разработке и получении композитных гетерогенных сред с повышенной вязкостью разрушения.

Проведенный анализ применения метода АЭ в механических испытаниях конструктивных материалов [9, 10] позволяет констатировать: метод АЭ может весьма эффективно использоваться при разработке и оптимизации структуры бетона конструкционного назначения; скорость счета и энергия АЭ, а также характер изменения этих акустических параметров на диаграмме нагружения служат непосредственной мерой коэффициента интенсивности напряжения, – и в этом заключаются особые возможности АЭ как метода прогнозирования разрушения композитных строительных материалов.

Выводы

Сравнительный анализ двух методологических подходов к прогностической оценке предельных состояний гетерогенной среды цементных композитов при кратковременном нагружении опытных образцов по степени информативности, достоверности и прогнозируемости результатов исследования критериев прочности, деформативности и трещиностойкости, на наш взгляд, свидетельствует о большей экспериментальной возможности и фундаментальности методологического подхода структурной механики разрушения материала.

Вместе с тем объединение этих подходов дает возможность получения физически обоснованных критериев разрушения с учетом вида напряженного состояния и условий разрушения.

Список литературы

1. Дейзе, Т. Переход с технологии Microdur к технологии Nanodur. Применение стандартных цементов в практике производства бетонов со сверхвысокими эксплуатационными свойствами / Т. Дейзе, О. Хорнунг, М. Мельман // Бетонный завод. – 2009. – №3. – С. 4–11.
2. Калашников, В.И. Высокопрочные порошково-активированные пропариваемые песчаные бетоны нового поколения / В.И. Калашников, В.М. Валиев, Е.В. Гуляева, В.М. Володин // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – №5. – С. 14–19.
3. Методические рекомендации по определению прочностных и структурных характеристик бетонов при кратковременном и длительном нагружении. – М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1976. – 56 с.

4. Билби, Б. Разрушение / Б. Билби // Механика разрушения. Разрушение конструкций. – М.: Мир, 1980. – С. 203–228.
5. Карпенко, Н.И. Экспериментальное определение физико-механических свойств и параметров механики разрушения ультравысокопрочных бетонов / Н.И. Карпенко, Ю.В. Зайцев, Г.Э. Окольников, А.А. Андрианов // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2010 году. – М.-Орел: РААСН, 2011. – С. 242–248.
6. ГОСТ 29167–91. Бетоны. Методы определения характеристик трещиностойкости (вязкости разрушения) при статическом нагружении. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 18 с.
7. Прошин, А.П. Методологические принципы выбора оптимальных наполнителей композиционных материалов / А.П. Прошин [и др.] // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2004. – № 10. – С. 15–20.
8. Грешников, В.А. Акустическая эмиссия / В.А. Грешников, Ю.Б. Дробот. – М.: Изд-во стандартов, 1976. – 272 с.
9. Макридин, Н.И. Долговременная прочность модифицированной структуры цементного камня. Часть 3. Идентификация процесса разрушения / Н.И. Макридин, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Строительные материалы. – 2012. – №7. – С. 83–86.
10. Макридин, Н.И. Комплексная оценка механического поведения заполнителей бетона из горных пород. Часть 2. Идентификация процесса разрушения / Н.И. Макридин, Ю.П. Скачков, И.Н. Максимова, И.А. Суров // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №2(16). – С. 4–12.

References

1. Deyze, T. Transition from Microdur technology to Nanodur technology. Application of standard cements in the practice of the production of concretes with the super high performance properties / T. Deyze, O. Khornung, M. Melman // Concrete plant. – 2009. – №3. – P. 4–11.
2. Kalashnikov, V.I. High-strength powder-activated steamed sandy concretes of new generation / V.I. Kalashnikov, V.M. Valiev, E.V. Gulyayeva, V.M. Volodin // Proceedings of higher educational institutions. Building. – 2011. – №5. – P. 14–19.
3. Systematic recommendations regarding strength and structural characteristics of concretes with short-term and prolonged load. – М.: НИИЖ (Scientific Research Institute of Concrete and Reinforced Concrete) of GOSSTROY of the USSR, 1976. – 56 p.
4. Bilby, B. Destruction / B. Bilby // Mechanics of destruction. Structural failure. – М.: Peace. – 1980. – P. 203–228.
5. Karpenko, N.I. The experimental determination of physical and mechanical properties and parameters of mechanics of destruction of ultrahigh-strength concretes / N.I. Karpenko, Yu.V. Zayzev, G.E. Okolnikova, A.A. Andrianov. – М.-Орел: RAASN, 2011. – P. 242–248.
6. ALL-UNION STATE STAN. 29167–91 Concretes. Methods of definition of characteristics of resistance to cracks (fracture toughness) with static load. – М.: Publishing house of standards, 1992. – 18 p.
7. Proshin, A.P. Methodological principles of selection of optimum fillers of composite materials / A.P. Proshin [etc.] // Proceedings of higher educational institutions. Building. – 2004. – № 10. – P. 15–20.
8. Greshnikov, V.A. Acoustic emission / V.A. Greshnikov, Yu.B. Drobot. – М.: Publishing house of standards, 1976. – 272 p.
9. Makridin, N.I. Lasting strength of modified structure of concrete block. Part of 3. Identification of the process of destruction / N.I. Makridin, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Building materials. – 2012. – №7. – P. 83–86.
10. Makridin, N.I. Integrated assessment of mechanical behavior of fillers of concrete from rocks. Part of 2. Identification of the process of destruction / N.I. Makridin, Yu.P. Skachkov, I.N. Maksimova, I.A. Surov // Regional architecture and building. – 2013. – №2(16). – P. 4–12.

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

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук доцент
кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук доцент
кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»

*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

Tarasov Roman Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Quality management
and construction technologies»

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Quality management
and construction technologies»

ПРОЦЕДУРА АУДИТА ПОСТАВЩИКА С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ СЫРЬЯ НА КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ*

В.И. Логанина, Р.В. Тарасов, Л.В. Макарова

Рассмотрено влияние сырья на состояние производственного процесса и качество производимой продукции. Показано, что при аудите поставщика сырья следует уделить внимание вариабельности показателей качества сырья с позиции установления основных статистических показателей, отвечающих за стабильность и воспроизводимость процессов производства строительной продукции. Предложена процедура аудита поставщика с учетом оценки влияния сырья на качество продукции.

Ключевые слова: поставщик, аудит, стабильность и воспроизводимость процесса, брак

SUPPLIER AUDIT PROCEDURES WITH REGARD TO RAW MATERIALS INFLUENCE ON THE QUALITY OF CONSTRUCTION PRODUCTION

V.I. Loganina, R.V. Tarasov, L.V. Makarova

The effect of raw materials on the state of the production process and the quality of the product is considered. It is shown that when auditing supplier of raw materials much attention should be given to the variability of quality of raw materials from the standpoint of establishing the basic statistics responsible for the stability and reproducibility of the processes of production of construction products. A procedure for auditing the supplier based on the assessment of raw material impact on product quality is suggested.

Keywords: supplier, audit, stability and reproducibility of the process, rejection

Стандарты серии ISO 9000 базируются на восьми фундаментальных принципах системного управления качеством, близких к идеологии Всеобщего управления качеством (TQM). Все содержание стандартов построено на основе этих принципов, которые призваны гарантировать достижение организацией постоянного успеха

При организации производства, в том числе и строительной продукции, на передний план выходит задача формирования взаимовыгодных отношений с поставщиками [1–3]. Требования к процессу закупок, а, следовательно, и к процессу оценки поставщика указаны в п. 7.4.1 ГОСТ ISO 9001-2011.

* Работа выполнялась при финансовой поддержке Министерства образования и науки в рамках базовой части.

В соответствии с требованиями ГОСТ ISO 9001-2011 организация должна обеспечивать соответствие закупленной продукции установленным требованиям к закупкам. Тип и степень управления, применяемые по отношению к поставщику и закупленной продукции, должны зависеть от ее воздействия на последующие стадии жизненного цикла продукции или готовую продукцию.

В соответствии с принципом процессного подхода СМК каждый из внутренних процессов жизненного цикла продукции (ЖЦП) (маркетинг, проектирование и разработка продукции или услуги и др.) должен быть выделен и описан, т.е. построена его модель. 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

Рассмотрим процесс проведения аудита поставщика (рис 1, 2). В качестве эффективной методики, позволяющей описать процесс аудита поставщика, использовали методологию структурного анализа и проектирования SADT.

Процедура аудита поставщика начинается с формулирования цели аудита с учетом требований ГОСТ ISO 9001-2011, ГОСТ ISO 19011-2012 и требований заказчика (требования проверяющей организации) к поставщику. Итогом проведенной работы являются сформулированные цели аудита. С учетом поставленных целей и требований нормативной документации СМК, из сотрудников проверяющей организации формируется экспертная комиссия (группа). Участники этой комиссии под руководством главного эксперта составляют план проведения аудита с учетом сложности и масштаба проверки и сроков аудита. Копия плана внутренней проверки отправляется для согласования рабочих моментов поставщику.

При формировании плана аудита, а также при проведении проверки входами являются процессы, осуществляемые в организации поставщика. На стадии сбора информации, основанной на анализе существующих процессов в организации поставщика, члены комиссии в соответствии с разработанным планом и с применением соответствующих методов собирают свидетельства аудита.

Полученная информация анализируется в соответствии с установленными критериями оценки, формируются выводы и оформляется отчет, а также план корректирующих и предупреждающих действий, выполнение которого является обязательным с позиций соответствия требований СМК и проверяющей организации к поставщику.

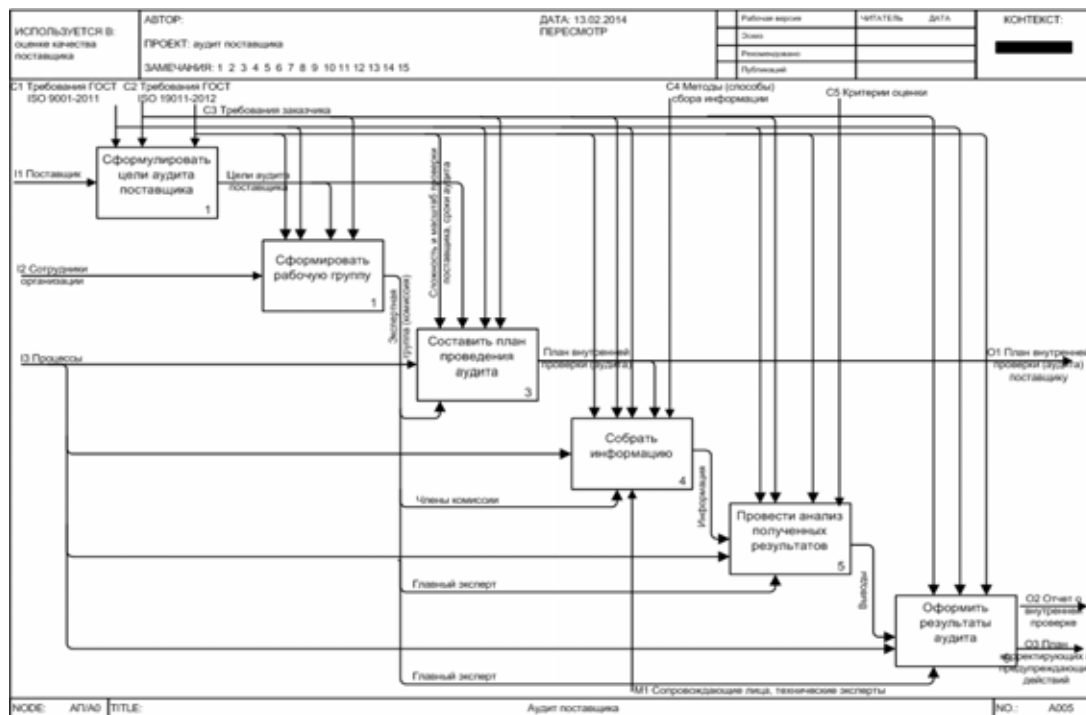


Рис. 1. Диаграмма верхнего уровня



Рис. 2. Обобщающая диаграмма

На наш взгляд, при проведении аудита поставщика следует уделить внимание вариабельности сырья с позиции его влияния на стабильность и воспроизводимость процессов производства будущей строительной продукции [4–6]. Актуальность этой проблемы обусловлена тем, что показатели качества сырья, даже если они находятся в пределах поля допуска в соответствии с действующей нормативной документацией, оказывают значительное влияние на показатели качества будущей продукции и состояние технологического процесса ее производства.

Ниже представлены результаты оценки состояния технологического процесса (стабильности и воспроизводимости) производства бетонных изделий в зависимости от вида цемента на примере некоторых предприятий стройиндустрии г.Пензы (табл. 1). Для исключения влияния изношенности оборудования, квалификации персонала были взяты статистические данные за промежуток времени, незначительно отличающийся по продолжительности. В качестве поставщиков цемента взяты следующие предприятия: ОАО «Мордовцемент», ЗАО «Ульяновскцемент», ЗАО «Жигулевские стройматериалы». В качестве поставщиков песка взяты следующие предприятия: Русеевский карьер (Пензенская область, район Барковка) и Сурский карьер (г. Пенза, поселок Подлесный) (табл 2). Стабильность технологического процесса оценивалась по контрольным картам Шухарта, воспроизводимость процесса – по показателям индекса воспроизводимости C_p и C_{pk} . Для построения контрольных карт и расчета индексов воспроизводимости C_p и C_{pk} использовали статистические данные отпускной прочности блоков бетонных для стен подвалов, изготовленных из цемента каждого из поставщиков на предприятии ООО «Строительные материалы», г.Пенза. Марка бетона 100, отпускная прочность составляет 70 % от проектной.

Анализ данных, приведенных в табл.1-2, свидетельствует о существенном влиянии вида сырья на состояние процесса производства. Так как $c_{pk} < 1$ (поставщик ОАО «Мордовцемент», ЗАО «Жигулевские стройматериалы»), то это означает, что процесс невоспроизводим. В случае применения песка Русеевского карьера процесс оказался невоспроизводимым, индекс воспроизводимости $c_{pk} < 1$.

Влияние вида поставщика цемента на уровень дефектности продукции

Наименование поставщика цемента	Состояние технологического процесса производства бетонных блоков	Индексы воспроизводимости	Уровень дефектности, %
ОАО «Мордовцемент»	Процесс производства стабилен, но не воспроизводим	0,86	0,99
ЗАО «Ульяновскцемент»	Процесс производства нестабилен, но воспроизводим	1,0	0,27
ЗАО «Жигулевские стройматериалы»	Процесс производства нестабилен и не воспроизводим	0,69	3,8

Т а б л и ц а 2

Влияние вида поставщика песка на уровень дефектности продукции

Наименование поставщика песка	Состояние технологического процесса производства бетонных блоков	Индексы воспроизводимости	Уровень дефектности, %
Сурский карьер	Процесс производства стабилен, воспроизводим, но требует внимания	1,03	0,21
Русеевский карьер	Процесс производства стабилен, но не воспроизводим	0,59	7,84

Такое различие в состоянии технологического процесса обусловлено, на наш взгляд, вариабельностью показателей качества сырья, что, безусловно, отражается в вариациях показателей прочности бетона [7, 8].

Выводы

Таким образом, при оценке поставщика необходимо учитывать влияние поставляемого им сырья на состояние технологического процесса будущей продукции. Из этого следует, что от эффективности осуществления процесса аудита поставщика в конечном итоге будет зависеть способность поставщика обеспечивать качество поставляемых материалов, а следовательно, качество будущей готовой продукции.

Список литературы

1. Майкл Р. Линдерс. 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 [Электронный ресурс] / М.В. Новиков // Корпоративный менеджмент. – Режим доступа: http://www.cfin.ru/management/manufact/allegst_sup.shtml
4. Логанина, В.И. К вопросу о регулировании технологических процессов производства бетона / В.И.Логанина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3-4. – С. 42–45.
5. ГОСТ Р 50-601-19–91. Рекомендации. Применение статистических методов регулирования технологических процессов. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
6. Логанина В.И. К вопросу о достоверности контроля при производстве бетона / В.И.Логанина, А.Н. Круглова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2011. – № 4. – С. 24–26.

7. ГОСТ 50.779.40–96. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение. – М.: Изд-во стандартов, 1996.

8. Логанина, В.И. К вопросу о системе контроля качества на предприятиях стройиндустрии / В.И.Логанина, Т.В.Учаева // Региональная архитектура и строительство. – 2010. – № 1. – С. 31–33.

References

1. Michael, R. Leenders. Supply management and inventory / Michael R. Leenders, Harold E. Fearon.. – St. Petersburg: LLC «Victoria plus», 2002. – 768 p.

2. Eremina, E.A. Fuzzy model of supplier selection / E.A. Eremina // Young scientist . – 2011 . – № 11. V.1. – P. 120–122.

3. Novikov, M.V. Marketing and economic model of certification of suppliers // Corporate Management . – Mode of access [http // www.cfin.ru / management / manufact / allest_sup.shtml](http://www.cfin.ru/management/manufact/allest_sup.shtml)

4. Loganina, V.I. On the regulation of technological processes of concrete / V.I. Loganina // News of higher educational institutions. Building. – 2009. – № 3–4. – P. 42–45.

5. GOST 50-601-19-91. Recommendations. Application of statistical process control methods . – Moscow: Publishing House of Standards, 1991.

6. Loganina, V.I. On reliability of quality control in the production of concrete / V.I. Loganina, A.N. Kruglov // Bulletin of Belgorod State Technological University. V.G. Shukhov. – 2011. – № 4. – P. 24–26.

7. ГОСТ 50.779.40–96. Statistical methods. Control maps. General management and administration. – М: Publishing House of Standards, 1996.

8. Loganina, V.I. To the question of quality control system for construction enterprises / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva // Regional architecture and engineering. – 2010. – № 1. – P. 31–33.

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

Ерошкина Надежда Александровна,
кандидат технических наук, старший научный
сотрудник научно-исследовательского сектора
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Коровкин Марк Олимпиевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: m_korovkin@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

Eroshkina Nadezda Alexandrovna,
Candidate of Sciences, senior researcher
of scientific and research sector
E-mail: n_eroshkina@mail.ru

Korovkin Mark Olimpievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Technology of building
materials and wood processing»
E-mail: m_korovkin@mail.ru

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА СВОЙСТВА ГЕОПОЛИМЕРНОГО ВЯЖУЩЕГО НА ОСНОВЕ МАГМАТИЧЕСКИХ ГОРНЫХ ПОРОД^{*}

Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин

Исследованы закономерности влияния технологических факторов на консистенцию, прочность и усадку геополимерного вяжущего. Установлены оптимальные значения удельной поверхности шлака и силикатного модуля активатора отверждения для получения заданных характеристик геополимерного вяжущего.

Ключевые слова: геополимерное вяжущее, технологические параметры, магматические породы, доменный шлак, метасиликат натрия, прочность, усадка

THE INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS ON THE PROPERTIES OF GEOPOLYMER BINDER BASED ON MAGMATIC ROCKS

N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin

Regularities of the influence of technological factors on consistency, strength and shrinkage of geopolymer binder are investigated. The optimum value of the slag specific surface and the silica modulus of the hardening activator to obtain predetermined characteristics of geopolymer binder are found.

Keywords: mineral-alkaline binder, geopolymer, magmatic rocks, mineral composition, curing activator, alkaline activation

Технология геополимерных строительных материалов на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород обладает большим ресурсо- и энергосберегающим потенциалом. Однако развитие технологии этих новых материалов сдерживается отсутствием ясных представлений о механизмах их структурообразования и влиянии технологических факторов на свойства геополимерных вяжущих. К числу важнейших свойств этих материалов, кроме прочности, относится усадка, так как она в значительной степени определяет долговечность материала [1].

Системными исследованиями установлено [2], что для получения вяжущего на основе магматических горных пород необходимо использовать добавку шлака, которая обеспечивает водостойкость вяжущего, а также высокую прочность. Шлак является более активным компонентом вяжущего в сравнении с горной породой – повышение

^{*} Работа выполнена при поддержке стипендии Президента РФ молодым ученым (СП-858.2012.1).

тонкости его помола дает в 2,5...3 раза больший прирост прочности, чем увеличение тонкости помола гранита или базальта. Установлено, что роль горной породы, особенно на ранних стадиях твердения, состоит в снижении аутогенных усадочных деформаций [3]. В более поздние сроки твердения проявляется химическая активность горной породы.

Прочность и аутогенная усадка – два взаимосвязанных свойства вяжущего материала, так как они являются различными проявлениями структурообразующих процессов. На структурообразование геополимера определяющее влияние оказывает несколько наиболее значимых факторов, к числу которых относятся дисперсность вяжущего, состав и количество активатора. В зарубежной научной литературе приводятся результаты исследований влияния различных факторов на деформативно-прочностные свойства геополимеров на основе золы-уноса и метакаолина, а характеристики геополимеров на основе магматических горных пород остаются практически неизученными [4–6]. В связи с этим были проведены исследования влияния состава активатора, который характеризовался силикатным модулем, и тонкости помола добавки шлака на консистенцию вяжущего теста, прочность и аутогенную усадку затвердевшего вяжущего.

Для исследования использовалось вяжущее, изготовленное на основе измельченных до удельной поверхности 350 м²/кг магматических горных пород – гранита или базальта. В состав вяжущего в качестве модифицирующей добавки вводилось 25 % доменного гранулированного шлака Новолипецкого металлургического комбината. Удельная поверхность шлака в эксперименте варьировалась в интервале от 160 до 360 м²/кг. В качестве активатора использовался раствор метасиликата натрия с различным силикатным модулем, который регулировали путем введения в жидкое стекло раствора гидроксида натрия. Исследования проводились на вяжущем, прочность определялась на растворе состава 1:2, который готовился с применением песка Сурского месторождения.

Анализ результатов исследования показал, что консистенция вяжущего теста и кинетика ее изменения, которые определяют наиболее важное технологическое свойство смеси – удобоукладываемость, зависят от тонкости измельчения шлака и силикатного модуля активатора твердения (см. таблицу).

Влияние силикатного модуля активатора твердения и удельной поверхности шлака на консистенцию вяжущего

Удельная поверхность добавки шлака, м ² /кг	Расплав конуса смеси, мм, в зависимости от силикатного модуля активатора				
	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
160	<u>187*</u>	<u>178</u>	<u>168</u>	<u>159</u>	<u>148</u>
	186	178	170	159	147
260	<u>189</u>	<u>182</u>	<u>174</u>	<u>164</u>	<u>153</u>
	183	175	168	156	147
360	<u>195</u>	<u>188</u>	<u>180</u>	<u>169</u>	<u>160</u>
	180	173	165	154	146

*В числителе указан расплав конуса через 5 мин после начала приготовления смеси, в знаменателе – через 30 мин.

При повышении удельной поверхности шлака расплав конуса увеличивается, что обусловлено более полным растворением этого компонента вяжущего и уменьшением доли твердой фазы в вяжущем тесте за счет уменьшения размера частиц шлака. Однако ускорение растворения тонкоизмельченного шлака в щелочной среде приводит к более быстрой потере подвижности (см. таблицу) из-за ускорения структурообразования. Увеличение содержания щелочи в активаторе твердения, которое происходит при снижении его силикатного модуля, как и повышение удельной поверхности, способствует ускорению растворения шлака, что объясняет повышение расплава смеси на встряхивающем столике.

Прочность раствора, приготовленного с применением исследованного вяжущего, после тепловлажностной обработки и после 28 суток твердения в нормальных условиях зависит в основном от тонкости помола шлака (рис. 1). При тепловлажностной обработке эта зависимость носит линейный характер, а при твердении в нормальных условиях влияние тонкости помола шлака снижается после достижения им удельной поверхности выше $260 \text{ м}^2/\text{кг}$. В значительно меньшей степени прочность зависит от силикатного модуля активатора твердения. Анализ графиков, представленных на рис. 1, показывает, что при приближении этой характеристики активатора к значению 1,4 наблюдается снижение прочности на 5...15 %, в зависимости от параметров состава и условий твердения.

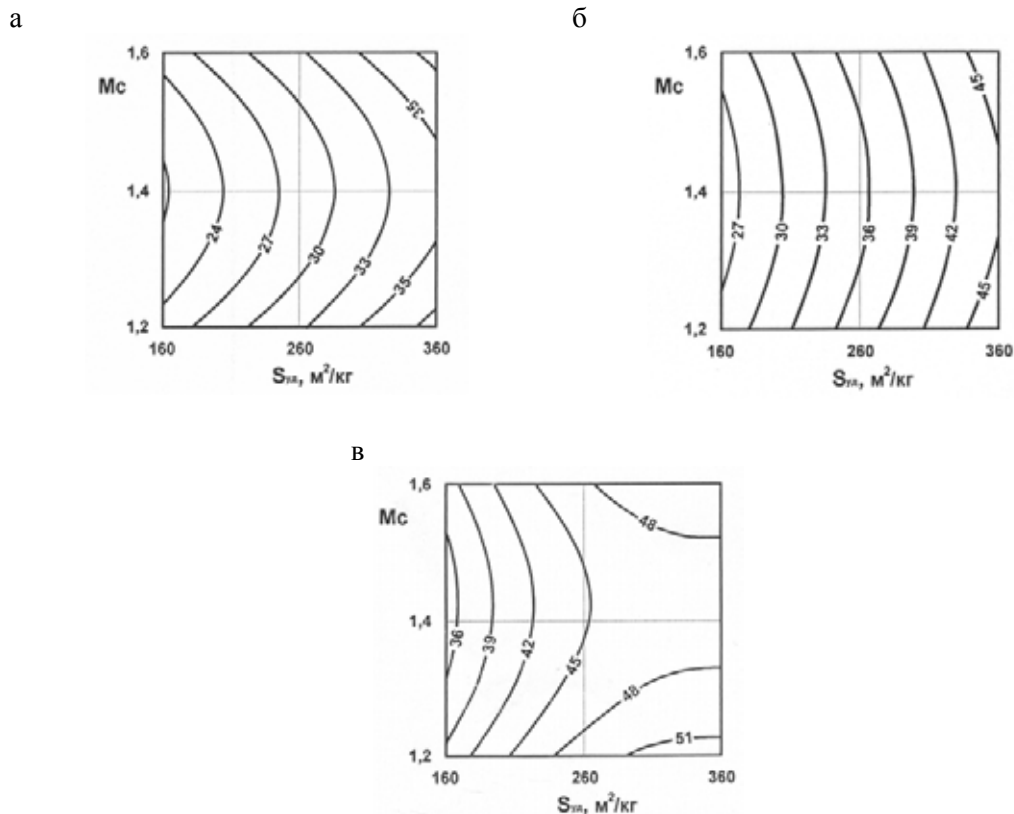


Рис. 1. Влияние удельной поверхности шлака и силикатного модуля активатора на прочность геополимерного вяжущего после тепловлажностной обработки при 60 (а), 80 (б) °С и твердения в течение 28 суток в нормальных условиях

На усадочные деформации вяжущего большое влияние оказывает не только удельная поверхность шлака. Усадка значительно зависит от силикатного модуля активатора твердения. На графиках (рис. 2) видно, что эти зависимости имеют экстремальный характер – оптимальный силикатный модуль с точки зрения минимизации усадки находится в области 1,4... 1,5.

Анализ графиков, показанных на рис. 2, позволяет сделать вывод о том, что усадочные явления в исследованных вяжущих имеют в основном аутогенный характер. При твердении в воздушно-влажных условиях в течение 28 суток в вяжущем отмечается усадка 0,3...0,4 мм/м (см. рис. 1а). Установлено, что в зависимости от дисперсности материалов, количества и состава активатора на первые 3 суток приходится 50...60 % этих деформаций, а на 7-е сутки – от 90 до 98 %. Такая кинетика развития усадочных деформаций позволяет сделать вывод о том, что они связаны с твердением вяжущего. Низкая усадка вяжущего камня в период с 28 суток до 1 года при его сушке в естественных условиях (рис. 2а) подтверждает вывод о преимущественно аутогенном характере усадки геополимерного вяжущего.

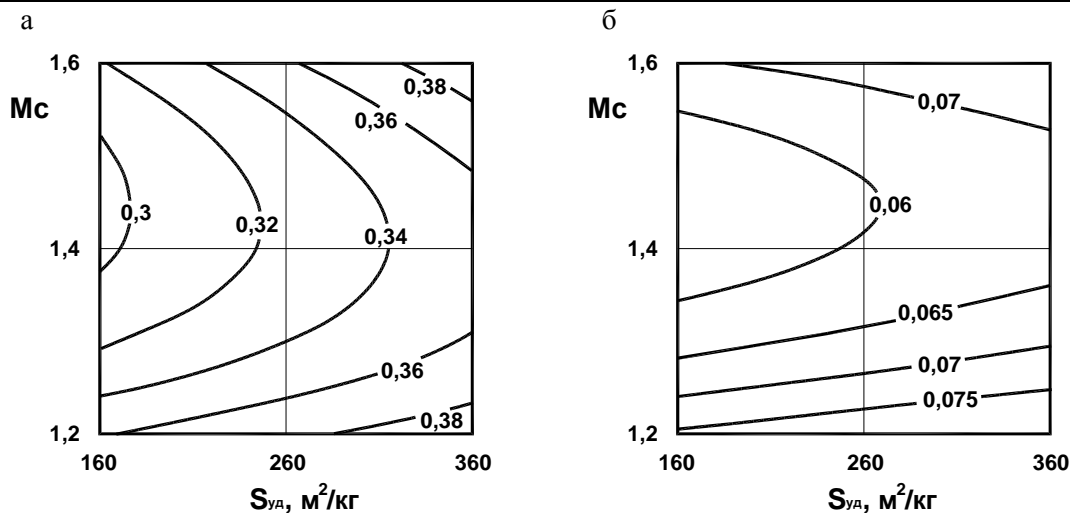


Рис. 2. Влияние силикатного модуля и удельной поверхности шлака на усадку, мм/м, в период с 1 по 28 сутки (а) и с 28 суток до 1 года (б)

Исследования усадочных деформаций в процессе схватывания, проведенные с помощью компаратора ИЗА-2, позволили установить, что на этом этапе структурообразования аутогенная усадка может достигать 0,3...0,6 мм/м. Несмотря на значительные деформации, они не приводят к трещинообразованию и негативному влиянию на прочность, так как протекают в материале, который характеризуется достаточной пластичностью.

Выводы

Исследованные технологические факторы – силикатный модуль активатора твердения и удельная поверхность добавки шлака – оказывают значительное влияние на свойства геополимерного вяжущего. Увеличение доли щелочи в активаторе твердения и повышение удельной поверхности шлака обеспечивают улучшение удобоукладываемости смеси, однако при этом ухудшается ее сохраняемость.

Усадка геополимерного вяжущего, приготовленного с применением измельченных магматических горных пород с добавкой шлака, носит аутогенный характер. Оптимальный силикатный модуль метасиликата натрия, обеспечивающий снижение усадки на 10... 15 %, составляет 1,4... 1,5.

Список литературы

1. Ерошкина, Н.А. Вяжущее, полученное из магматических горных пород с добавкой шлака, и бетон на его основе / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, В.И. Калашников // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – № 2. – С. 62–65.
2. Ерошкина, Н.А. Влияние минерального состава магматических горных пород на активность геополимерного вяжущего / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1(15). – С. 84–89.
3. Ерошкина, Н.А. Малоэнергоёмкие ресурсосберегающие технологии производства вяжущих для конструкционных бетонов / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин, С.В. Аксенов // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 6. – 8 с.
4. Steenie Edward Wallah. Drying Shrinkage of Heat-Cured Fly Ash-Based Geopolymer Concrete / Steenie Edward Wallah. // Modern Applied science. – 2009. – Vol. 3, № 3. – P. 14–21.
5. Ridditirud C. Factors affecting the shrinkage of fly ash geopolymers / C. Ridditirud, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa // International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials. – 2011. – Vol. 18, Issue 1. – P. 100–104.
6. Ерошкина, Н.А. Ресурсосберегающие технологии геополимерных вяжущих и бетонов на основе отходов добычи и переработки магматических горных пород: моногр. / Н.А. Ерошкина, М.О. Коровкин. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 152 с.

References

1. Eroshkina, N.A. A binder from magmatic rocks with addition of slag and concrete on its basis / N.A. Eroshkina, V.I. Kalashnikov, M.O. Korovkin // *Regional architecture and engineering*. – 2011. – No 2. – P. 62–65.
2. Eroshkina, N.A. The influence of magmatic rocks mineral composition on the activity of geopolymer binder / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // *Regional architecture and engineering*. – 2013. – No 1. – P. 84–89.
3. Eroshkina, N.A. Low-power resource saving technologies of binder for structural concrete / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin, S.V. Aksenov // *Modern Problems of Science and Education*. – 2013. – No 6. – 8 p.
4. Steenie Edward Wallah. Drying Shrinkage of Heat-Cured Fly Ash-Based Geopolymer Concrete / Steenie Edward Wallah. // *Modern Applied science*. – 2009. – Vol. 3, № 3. – P. 14–21.
5. Ridditrud, C. Factors affecting the shrinkage of fly ash geopolymers / C. Ridditrud, P. Chindaprasirt, K. Pimraksa // *International Journal of Minerals, Metallurgy, and Materials*. – 2011. – Vol. 18, Issue 1. – P. 100–104.
6. Eroshkina, N.A. Resource-saving technologies of geopolymer binders and concrete on the basis of waste of production and recycling of magmatic rocks: monogr. / N.A. Eroshkina, M.O. Korovkin. – Penza: PGUAS, 2013. – 152 p.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 624.072.4:69.07

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

Россия, 430000, г. Саранск,
ул. Советская, д. 24
тел.: (8342) 47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
академик РААСН, доктор технических
наук, профессор, зав. кафедрой
«Строительные конструкции», президент
Научно-технического общества строителей
Республики Мордовия
E-mail: ntorm80@mail.ru

Лазарев Александр Львович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: aleks-laz@yandex.ru

Цыганов Виктор Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: tsyganovvv@mail.ru

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

Russia, 430000, Saransk, 24,
Soviet St.,
tel.: (8342) 47-71-56

Seljaev Vladimir Pavlovich,
Academician of the Russian Academy of
Architectural and Construction Sciences, Doctor
of Science, Professor, Head of the department
«Building designs», President of Scientific and
Technical Society of the Mordovia Republic
E-mail: ntorm80@mail.ru

Lazarev Aleksandr Lvovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building designs»
E-mail: aleks-laz@yandex.ru

Tsyganov Victor Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building designs»
E-mail: tsyganovvv@mail.ru

РАБОТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ, УСИЛЕННЫХ ПОЛИМЕРМЕТАЛЛИЧЕСКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

В.П. Селяев, А.Л. Лазарев, В.В. Цыганов

Приведены результаты опытно-экспериментальных исследований работы железобетонных конструкций с полимерметаллическими покрытиями. Показано, что применение полимерметаллических покрытий для усиления железобетонных конструкций на поверхности растянутой грани приводит к повышению жесткости конструкции и снижению деформативности изделия.

Ключевые слова: железобетонная конструкция, усиление, полимерметаллическое покрытие

THE BEHAVIOUR OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES RUGGEDIZED WITH POLIMERMETALL COATING

V.P. Selyaev, A.L. Lazarev, V.V. Tsyganov

The article contains the results of experimental research of reinforced concrete structures with polymermetal coatings work. It is shown that application of polymermetall coatings for reinforcement of reinforced concrete structures on the surface stretched faces increases the rigidity of the design and reduces the deformation of the product.

Keywords: reinforced concrete structure, strengthening, polimermetal coating

В настоящее время отмечается рост применения композиционных материалов для ремонта и усиления бетонных и железобетонных конструкций различных инженерных сооружений. Накопленный мировой и отечественный опыт применения композиционных материалов для усиления строительных конструкций показывает положительный эффект в дальнейшей эксплуатации таких конструкций [1, 2]. Вместе с тем широкое внедрение усиления строительных конструкций композиционными материалами сдерживается недостаточной опытно-экспериментальной и расчетной базой.

Использование конструкций с внешней дополнительной арматурой обусловлено рядом причин. Теоретически установлено, что в изгибаемых элементах лучшее использование свойств композиционных материалов возможно в тех случаях, когда наиболее нагруженные сжатые и растянутые слои выполнены из высокомодульных материалов [3]. Так как эти слои наиболее подвержены действию агрессивных сред, то их необходимо выполнять из материалов, обладающих высоким химическим сопротивлением. Кроме того, встречаются случаи, когда вследствие изменения технологического режима здания меняется характер и величина эксплуатационных нагрузок, что приводит к необходимости усиления существующих конструкций.

Наилучших результатов при достижении поставленных целей можно добиться путем приклеивания к их наружным поверхностям дополнительной арматуры. У конструкций с полимерметаллическим покрытием повышаются несущие свойства, трещиностойкость, стойкость к агрессивным воздействиям, увеличивается прочность при динамической нагрузке. В качестве клеевого шва могут использоваться составы на основе мономеров, олигомеров, продуктов нефтепереработки.

С целью опытно-экспериментального изучения принципов работы конструкций были изготовлены три серии железобетонных балок из тяжелого бетона В20 размером 100×200×1180 мм с различной площадью рабочей арматуры в растянутой зоне и полимерметаллическим покрытием по одной или двум граням. Помимо контрольных образцов (БО) с различным процентом армирования на их основе изготовили образцы, усиленные внешней листовой арматурой на верхней сжатой грани (БУС), на нижней растянутой грани (БУР), на обеих гранях одновременно (БУРС – для образцов с диаметром рабочей арматуры 16 мм) (табл. 1).

В качестве приклеиваемой арматуры применялась стальная металлическая полоса размером 25×100×1180 мм, выполненная из стали А-1. Для приклеивания стальной пластины использовали состав, включающий в себя (в мас.ч.): смола – ЭД-20 – 100; отвердитель – ПЭПА – 16; пластификатор – ДБФТ – 18; наполнитель – цемент М 400 – 110.

Т а б л и ц а 1

Способы армирования испытываемых образцов

Тип балок	Диаметр рабочей арматуры в растянутой зоне	Усиление по граням	Процент армирования μ
БО-8 БУР-8 БУС-8	2 \varnothing 8 А-III	- растянутой сжатой	0,6
БО-14 БУР-14 БУС-14 БУРС-14	2 \varnothing 14 А-III	- растянутой сжатой растянутой и сжатой	1,504
БО-16 БУР-16 БУС-16 БУРС-16	2 \varnothing 16 А-III	- растянутой сжатой растянутой и сжатой	2,01

Балки нагружали статически в двух третях пролета. Нагружение производили этапами по 5 % от разрушающей нагрузки (для балки серии БО) до разрушения образца. Результаты испытаний представлены в табл. 2.

Во время испытаний балок замерялись величины прогибов, относительная деформация растянутой и сжатой граней по длине балки, абсолютные удлинения растянутой грани, а также распределение относительных деформаций бетона по высоте балки в наиболее напряженном сечении. Момент появления трещин фиксировали по кривой прогибов и роста средних деформаций наиболее растянутых волокон бетона чистого изгиба. В процессе испытания фиксировалось начало и конец отслоения пластины, а также характер разрушения балки.

Т а б л и ц а 2

Испытания бетонных балок с полимерметаллическим покрытием

Серия балок	μ , %	Момент трещинообразования, M_{cr} , кНм	Разрушающий момент, M_u , кНм	$\frac{M_u}{M_u^0}$	$\frac{M_{cr} - M_{cr}^0}{M_{cr}}$ %	Прогиб в момент трещинообразования, f_{cr} , мм	Прогиб*, f_{cr}^0 , мм	$\frac{f_{cr}}{f_{cr}^0}$	Характер разрушения
БО-8	0,6	2,5	7,5	1	0	0,4	0,4	1	По нормальным трещинам
БУС-8	0,6	2,6	7,6	1,1	3,8	0,35	0,4	0,875	То же с отрывом пластины
БУР-8	0,6	4,0	8,0	1,02	37,5	0,36	0,575	0,626	То же
БО-14	1,504	6,4	24,0	1	0	0,5	0,5	1	По наклонным трещинам
БУС-14	1,504	6,2	24,5	1,08	3,03	0,5	0,6	0,83	То же
БУР-14	1,504	8,0	26,0	1,02	20	0,5	0,75	0,67	То же
БУРС-14	1,504	7,6	27,1	1,13	15,7	0,45	0,75	0,6	То же
БО-16	2,1	6,5	26,0	1	0	0,85	0,85	1	То же
БУС-16	2,1	6,6	27,0	1,04	1,5	0,9	0,95	0,95	То же с отрывом пластины
БУР-16	2,1	9,0	27,0	1,04	27,8	0,6	0,7	0,86	То же
БУРС-16	2,1	9,1	28,0	1,08	28,6	0,45	0,8	0,55	То же

* f_{cr}^0 – прогиб контрольной балки при нагрузках в момент трещинообразования усиленной балки

Анализ графиков, построенных по результатам испытаний (рис. 1, 2), дает возможность выделить при нагружении балок с покрытием три характерные стадии деформации. Первая – от начала нагружения до момента появления трещины в бетоне. Для нее характерны небольшие напряжения в бетоне и арматуре, деформации при этом носят упругий характер. На данной стадии прогиб у всех видов балок незначителен.

Вторая стадия продолжается от момента появления трещины в бетоне растянутой зоны до отслоения покрытия. Прогиб на границе первой и второй стадии лучше всего характеризует деформативность балок, так как на этой стадии отсутствует отслоение покрытия от основания, и они работают совместно. Третья стадия – работа балок после отслоения пластины до разрушения.

Наибольший интерес представляют деформации балок на первой и второй стадиях, т.к. после отслоения пластин работа усиленных балок мало отличается от работы «обычных» балок перед разрушением.

Полимерметаллическое покрытие на поверхности растянутой грани повышает предельную растяжимость материала и снижает деформативность изделия. Особенно хорошо это заметно при работе конструкции до момента образования трещин в бетоне. Их прогиб на третьей стадии деформации резко увеличивается как у контрольных, так и у усиленных элементов.

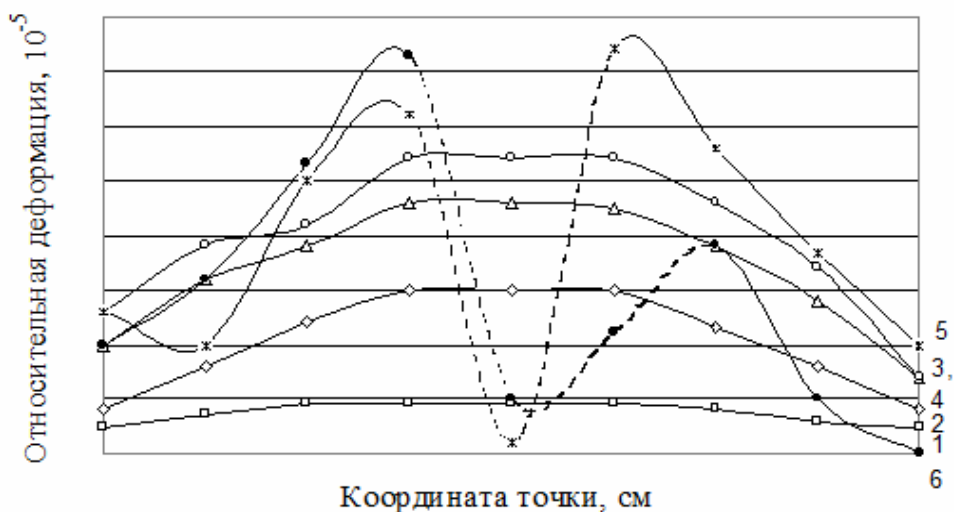


Рис. 1. Изменение относительной деформации по длине пластины для образцов типа БУРС-16 (растянутая пластина):

1 – 10 кН; 2 – 30 кН; 3 – 50 кН; 4 – 70 кН; 5 – 90 кН; 6 – 110 кН



Рис. 2. Изменение относительной деформации по длине пластины для образцов типа БУРС-16 (сжатая пластина):

1 – 10 кН; 2 – 30 кН; 3 – 50 кН; 4 – 70 кН; 5 – 90 кН; 6 – 110 кН

Повышение растяжимости бетона означает, что железобетонная балка будет работать без трещины в большом диапазоне деформаций, и это значительно повысит долговечность конструкций и сооружений в целом. Уменьшение деформативности железобетонных балок с покрытием на поверхности объясняется перераспределением напряжений между бетоном, внутренней и внешней рабочей арматурой, в результате чего происходит сглаживание пиковых деформаций растянутой грани бетона и арматуры.

Можно отметить, что жесткость балок с приклеенной арматурой значительно выше, чем «обычных» (серия БО) балок. Наиболее ощутимо улучшаются прочностные и деформативные свойства изделий с внешней арматурой на растянутой грани и по двум граням. При использовании арматуры в сжатой зоне несущая способность и прогиб образцов повышаются незначительно. Пластина в этом случае несет в основном защитную функцию.

Сравнивая работу изделий с двойным армированием и с внешней арматурой на растянутой грани, можно отметить, что до определенного момента времени при одних и тех же нагрузках их прогибы практически одинаковы. Лишь на третьей стадии работы изделия (до момента разрушения) прогиб образцов, усиленных по двум граням,

выше. Момент трещинообразования усиленных балок примерно на 20–40 % выше, чем балок «обычных».

Анализ характерных графиков распределения относительных деформаций по высоте поперечного сечения балок показывает, что по грани с приклеенными металлическими пластинами наблюдается значительное стеснение деформаций. Это приводит к смещению нейтральной линии и говорит о том, что клеевая прослойка способствует перераспределению усилий с бетона на стальную пластину, разгружая тем самым работу бетона балок. Включение в работу приклеенных стальных пластин зафиксировано также и датчиками, наклеенными на эти пластины.

Экспериментальные исследования показывают, что связь между арматурой и бетоном на эпоксидном клее обеспечивает совместную работу двух материалов. Отрыв начинался в приопорной зоне балки, т.е. в сечении с наибольшими поперечными силами и сравнительно быстро распространялся на всю треть балки. Можно утверждать, что отрыв пластины был вызван совместным действием касательных напряжений при изгибе балки и нормальными напряжениями отрыва. Причем решающую роль играли все же касательные напряжения, поскольку в зоне с нулевыми значениями поперечных сил отрыва не наблюдается.

С увеличением количества арматуры эффект от покрытия снижается. Это объясняется тем, что при высоком проценте армирования значительная часть нагрузки в момент трещинообразования воспринимается внутренней рабочей арматурой, и лишь небольшая доля нагрузки приходится на бетон и покрытие.

Проведенные опытно-экспериментальные исследования железобетонных конструкций, усиленных полимерметаллическими покрытиями, позволяют моделировать работу конструкций в реальных условиях эксплуатации и показывают необходимость системного подхода к проектированию усиления изгибаемых конструкций с учетом деформаций бетона в растянутой зоне. Проектирование усиления в случае, когда конструкция находится в работоспособном состоянии и рассчитывается на новую повышенную нагрузку либо ремонт и восстановление первоначальной несущей способности. Эффективность работы железобетонных конструкций, усиленных полимерметаллическими покрытиями, в значительной степени зависит от надежного восприятия касательных напряжений и адгезионной прочности между соединяемыми поверхностями.

Список литературы

1. Римшин, В.И. Композиционные материалы для усиления железобетонных строительных конструкций / В.И. Римшин, Д.Н. Котельников // Строительная физика в XXI веке: сб. мат-лов науч.-техн. конф. сер. «НИИ строительной физики 50 лет». – М.: НИИСФ РААСН, 2006. – С. 601–605.
2. Шилин, А.А. Усиление железобетонных конструкций композиционными материалами / А.А. Шилин, В.А. Пшеничный, Д.В. Картузов. – М.: Стройиздат, 2004. – 144 с.
3. Селяев, В.П. Функционально-градиентные композиционные строительные материалы и конструкции / В.П. Селяев, В.А. Карташов, В.Д. Клементьев, А.Л. Лазарев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2005. – 160 с.

References

1. Rimshin, V.I. Composite materials for reinforced concrete building structures / V.I. Rimshin, D.N. Kotelnikov // Construction physics in XXI century: The collection of materials of scientific. – technical. conf. «Research Institute of Construction physics 50 years». – М.: NIISF RAASN, 2006. – P. 601–605.
2. Shilin, A.A. Reinforced concrete constructions of composite materials / A.A. Shilin, V.A. Pshenichnyi, D.V. Kartuzov. – М.: Stroizdat, 2004. – 144 p.
3. Selyaev, V.P. Functionally graded composite building materials and constructions / V.P. Selyaev, V.A. Kartashov, V.D. Klementev, A.L. Lazarev. – Saransk: Publisher Mordovia State University, 2005. – 160 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

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Математика и математическое
моделирование»

Егинов Эван Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»

Ладин Роман Акбарович,
аспирант

*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 «Mathematics and
mathematical modeling»

Eginov Evan Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Building construction»

Ladin Roman Akbarovich,
Postgraduate

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ХОМУТОВ НА ПРОЧНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЕЙСТВИИ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

О.В. Снежкина, Э.В. Егинов, Р.А. Ладин

Приводятся результаты экспериментально-теоретических исследований балок при действии поперечных сил. С использованием каркасно-стержневой модели разработана методика расчета прочности балок при армировании вертикальными хомутами.

Ключевые слова: железобетонные балки, поперечная арматура, прочность, трещиностойкость, схемы разрушения и трещинообразования

ASSESSMENT OF VERTICAL CLAMP ON THE STRENGTH OF CONCRETE BEAMS UNDER THE INFLUENCE OF SHEAR FORCES

O.V. Snezhkina, E.V. Eginov, R.A. Ladin

The results of theoretical and experimental studies of beams under transverse forces are given. Using the frame-rod model the method of calculating the strength of beams with vertical clamps reinforcement was developed.

Keywords: reinforced concrete beams, cross reinforcement, strength, fracture toughness, circuit failure and fracture

На кафедре «Строительные конструкции» ПГУАС на протяжении ряда лет проводятся экспериментально-теоретические исследования железобетонных конструкций, направленные на совершенствование методов расчета и конструирования коротких железобетонных элементов (короткие балки, консоли, ригели с подрезками, перемычки и ригели двухветвевых колонн, приопорные участки обычных балок и др.), имеющих сложный характер напряженно-деформированного сопротивления. Разработанные методы расчета базируются на каркасно-стержневой модели (КСМ) [1]. Построение расчетных моделей основывается на копировании характера трещинообразования и схем разрушения, а также на закономерностях изменения разрушающих усилий в зависимости от различных факторов.

Основной акцент данных исследований направлен на выявление эффективности влияния вертикальных хомутов в приопорных зонах железобетонных балок в зависимости от их места расположения по длине пролета среза [2–4]. Усовершенствование КСМ производилось на основе экспериментальных исследований, проведенных в Институте Бетона США профессором G. Kani, и численного эксперимента авторов.

Опытные образцы железобетонных балок проектировались прямоугольного сечения, с размерами $15 \times 30 \text{ см}^2$, с пролетом среза $a/h_0 = 3$ (рис. 1). Бетон принимался класса В-15, арматура класса А-III. Все образцы коротких балок имели одинаковое количество растянутой продольной и распределенной арматуры: $A_s = 11,62 \text{ см}^2$, $A_{sw} = 1,42 \text{ см}^2$. Конструктивное решение исследуемых балок и схема испытаний показаны на рис. 1. Особенностью конструктивного решения является завышенное количество продольной арматуры для исключения разрушения по растянутой зоне. В серии испытаний изучалось влияние расположения замкнутого хомута (пакета хомутов) относительно оси опоры на прочность, характер напряженно-деформированного состояния, характер трещинообразования опытных образцов.

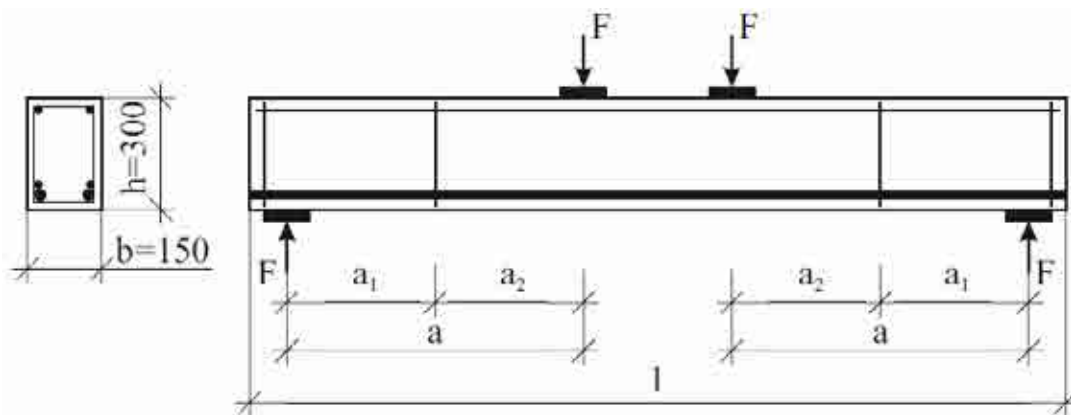


Рис.1. Схема нагружения опытных образцов. Конструктивное решение

Характер напряженно-деформированного состояния показал, что основную роль в сопротивлении железобетонных балок при действии поперечных сил играют главные сжимающие и растягивающие напряжения [5]. Особенностью распределения траекторий главных сжимающих напряжений является их концентрация в пределах двух условных наклонных сжатых полос бетона, ориентированных на ось физической опоры балок, а также на ось, условно говоря, податливой промежуточной опоры, образуемой узлом сопряжения пакета вертикальных хомутов с продольной арматурой. При перемещении пакета хомутов (одного замкнутого хомута) вдоль пролета среза угол наклона главных сжимающих напряжений изменяется пропорционально перемещению хомутов. В зоне расположения хомутов концентрируются растягивающие напряжения. Траектории наклонных трещин, выделяющих сжатые полосы бетона, и определяют их ширину.

Испытания показали, что разрушающие усилия увеличиваются с уменьшением расстояния от оси опоры балки до оси единичного замкнутого вертикального хомута (либо пакета хомутов), т.е. увеличивается прочность наклонной полосы бетона, расположенной над опорой балки. Одновременно прочность наклонной полосы, расположенной между условной опорой (узлом сопряжения пакета хомутов с продольной арматурой) увеличивается и становится максимальной при расположении указанных хомутов в середине пролета среза. Характерно, что при этом степень увеличения и степень снижения разрушающей силы является примерно одинаковой. Одиночные хомуты (либо пакет хомутов) наиболее эффективно повышают прочность приопорного участка балки при их расположении вдоль поперечной оси балки, проходящей через середину пролета среза. Для учета указанного эффекта производилась модификация известных стержневых расчетных моделей для оценки прочности приопорных участков длинных балок. При разработке расчетной модели использовались основные принципы проектирования сложных технических систем [6–8]. Модификация состояла во введении в расчетную модель условной промежуточной опоры, образуемой узлом сопряжения одиночного вертикального хомута (либо пакетов хомутов) с продольной арматурой (рис. 2).

Учитывался характер напряженно-деформированного состояния балок в зоне среза (данные получены на основе физического и численного экспериментов). Стержневая модель (СМ) является ферменной аналогией балки, наклонные стержни которой имитируют концентрацию главных сжимающих напряжений (см. рис. 2а). Вертикальные и горизонтальные стержни модели имитируют растянутый вертикальный хомут (пакет хомутов) и горизонтальный арматурный пояс. Таким образом, при расчете вводились две наклонные сжатые полосы бетона, угол наклона которых определяется положением вертикального хомута (пакета хомутов) вдоль пролета среза. С уменьшением угла наклона одной из расчетных полос величина сжимающих усилий возрастает (одна из полос всегда является расчетной). Очевиден зеркальный характер снижения разрушающих усилий относительно оси, проходящей через середину пролета среза.

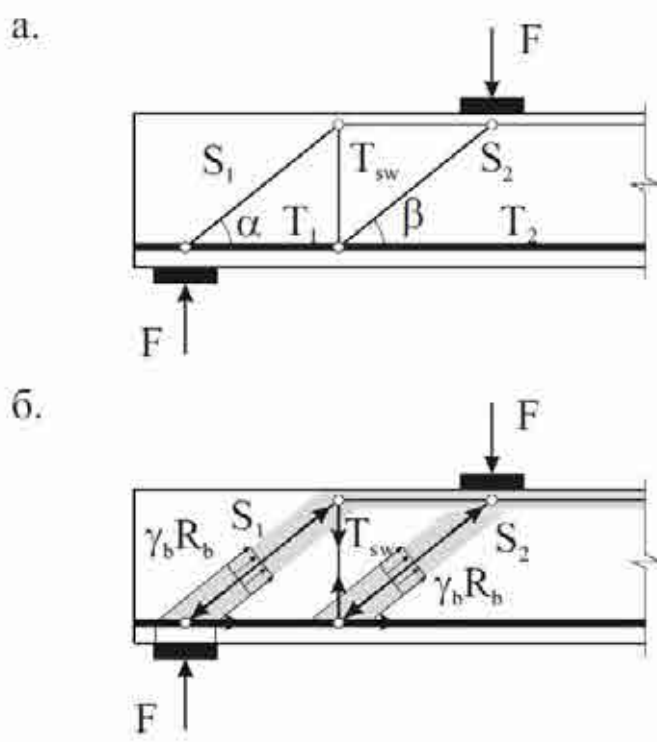


Рис.2. Расчетные модели:

а – стержневая модель СМ; б – каркасно-стержневая модель КСМ

Величины расчетных усилий в условно наклонных сжатых полосах бетона равны:

$$S_1 = \frac{F}{2 \sin \alpha}; \quad (1)$$

$$S_2 = \frac{F}{2 \sin \beta}. \quad (2)$$

Для прочности сжатых полос справедливо:

$$S_1 \leq \gamma_b R_b b l_b, \quad S_2 \leq \gamma_b R_b b l_b. \quad (3)$$

Величины расчетных усилий в горизонтальном арматурном поясе соответственно равны:

$$T_1 = \frac{F}{2 \operatorname{tg} \alpha}; \quad (4)$$

$$T_2 = \frac{F}{2 \operatorname{tg} \alpha_1} + \frac{F}{2 \operatorname{tg} \beta}. \quad (5)$$

Также справедливо:

– прочность горизонтального арматурного пояса определяется по формуле

$$T_1 \leq \gamma_s R_s A_s, T_2 \leq \gamma_s R_s A_s; \quad (6)$$

– величина расчетных усилий в вертикальном арматурном поясе определяется по формуле

$$T=0,5F; \quad (7)$$

– прочность вертикального арматурного пояса определяется по формуле

$$T_{sw} \leq \gamma_s R_s A_{sw}. \quad (8)$$

Выводы

1. Главные сжимающие напряжения концентрируются в пределах двух условных наклонных сжатых полос бетона, ориентированных на ось физической опоры балок, а также на ось «податливой» промежуточной опоры, образуемой узлом сопряжения пакета вертикальных хомутов с продольной арматурой.

2. Предложена модификация КСМ введением в расчетную модель условной промежуточной опоры, образуемой узлом сопряжения одиночного вертикального хомута (либо пакетов хомутов) с продольной арматурой (указанная опора обосновывается характером напряженно-деформированного состояния балок в зоне среза, полученного на основе физического и численного экспериментов).

3. Модифицированная КСМ согласуется с физической работой приопорных участков балок, армированных единичным вертикальным хомутом (пакетом сосредоточенных хомутов) при их различном положении вдоль пролета среза.

4. Выявлена эффективность вертикальных хомутов в приопорных зонах железобетонных балок в зависимости от места их расположения по длине пролета среза. Одиночные хомуты (либо пакет хомутов) наиболее эффективно повышают прочность приопорного участка балки при их расположении вдоль поперечной оси балки, проходящей через середину пролета среза.

5. Предлагаемый метод расчета позволяет оценить прочность сжатых полос бетона, расположенных между наклонными трещинами (в действующих Нормах прочность бетона определяется по эмпирической формуле, не учитывающей схемы армирования и ряд других факторов, оказывающих влияние на прочность балок при действии поперечных сил).

Список литературы

1. Баранова, Т.И. 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.

2. Будылина, Е.А. Фундаментальные основы оценки качества сложных систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 4 (14). – С. 6–9.

3. Будылина, Е.А. Основные принципы проектирования сложных технических систем в приложениях / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.С. Махонин // Молодой ученый. – 2013. – № 5. – С. 42–45.

4. Гарькина, И.А. Промышленные приложения системных методологий, теорий идентификации и управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2009. – № 2. – С. 77–81.

5. Снежкина, О.В. Расчет прочности железобетонных балок со средним пролетом среза / О.В. Снежкина, М.В. Кочеткова, А.В. Корнюхин, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2014. – № 1. – С. 118–122.

6. Гарькина, И.А. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, А.П. Прошин; под ред. А.М. Данилова. – Пенза: ПГУАС, 2005.

7. 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. – С. 4–9.

8. Будылина, Е.А. Междисциплинарный подход к идентификации / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, С.А. Жесткова // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 5–6 (15–16). – С. 3–6.

References

1. Baranova, T.I. 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.

2. Budylna, E.A. Fundamentals of assessing the quality of complex systems / E.A. Budylna, I.A. Garcina, A. M. Danilov // New University. Series: Technical Sciences. – 2013. – No. 4 (14). – P. 6–9.

3. Budylna, E.A., Basic principles of design of complex technical systems in applications / EA Budylna, I.A. Garcina, A. M. Danilov, A.S. Makhonin // Young scientist. – 2013. – No. 5. – P. 42–45.

4. Garcina, I.A. Industrial application, system methodologies, theories, identification and control / I.A. Garcina, A.M. Danilov, A.R. Domke // Bulletin of Moscow state automobile and road technical University (MADI). – 2009. – No. 2. – P. 77–81.

5. Snezhkina, O.V. Calculation of the strength of reinforced concrete beams with an average span of the slice / O.V. Snezhkina, M.V. Kochetkova, A.V. Kornuhin, R.A. Ladin // Regional architecture and construction. – 2014. – No. 1. – P. 118–122.

6. Garcina, I.A. Planning of the experiment. Processing of the experimental data / I.A. Garcina, A.M. Danilov, A.P. Proshin; ed. by A. M. Danilov. – Penza: PGUAS, 2005.

7. Skachkov, Y.P. Modification of the method of Pattern to the solution of architectural problems / Y.P. Skachkov, A.M. Danilov, I.A. Garcina // Regional architecture and construction. – 2011. – No. 1. – P. 4–9.

8. Budylna, E.A. Interdisciplinary approach to identification / E.A. Budylna, I.A. Garcina, A.M. Danilov, S.A. Zhestkov // New University. Series: Technical science. – 2013. – No. 5–6 (15–16). – P. 3–6.

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

Зорин Алексей Николаевич,
инженер ООО «Стройсервис»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Шишкин Сергей Олегович,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: hehaio@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

Guchkin Igor Sergeevich,
Candidate of Sciences, Professor of the
department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Zorin Aleksey Nikolaevich,
Engineer of ООО «Stroyservis»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Shishkin Sergey Olegovich,
Postgraduate of the department «Building
constructions»
E-mail: hehaio@mail.ru

СОПРОТИВЛЕНИЕ ПРОДАВЛИВАНИЮ ФУНДАМЕНТА СБОРНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

И.С. Гучкин, А.Н. Зорин, С.О. Шишкин

Приводятся результаты испытаний образцов фундамента стаканного типа при продавливании колонной. Исследуются факторы, влияющие на усилия продавливания фундамента (прочность бетона замоноличивания колонны в стакане фундамента, сцепление монолитного слоя бетона с колонной и стенками стакана фундамента). Даются рекомендации по расчету фундамента. Предлагается конструкция усиления фундамента.

Ключевые слова: фундамент, колонна, стык колонны с фундаментом, продавливание, усиление

RESISTANCE TO PRESSING OF FOUNDATION TO REINFORCED CONCRETE COLUMN

I.S. Guchkin, A.N. Zorin, S.O. Shishkin

Results of the tests of samples of the foundation of a glass type when pressing by column are given. The factors affecting foundation pressing (concrete strength of columns in the glass of foundation, clutch of mass concrete layer with the column and the walls of the glass of foundation) are examine. Recomendations on the calculation of the foundation are given. Design of the strengthening of the foundation is proposed.

Keywords: foundation, column, intersection of the column with foundation, pressing, strengthening

Продавливание фундамента колонной может произойти в процессе строительства здания, тогда его достаточно просто можно обнаружить, а также при эксплуатации, когда обнаружение проблематично и возможны ошибки. Просадку колонны инженерная служба часто воспринимает как результат осадки фундамента, хотя на самом деле это может оказаться следствием его продавливания. Причинами продавливания, как показывает практика, являются ошибки проектирования и дефекты при строительстве. При проектировании фундамента под сборную колонну инженер обычно проверяет расчетом на продавливание высоту фундамента, а не толщину дна его стакана. Однако при низкой прочности бетона в замоноличивании стыка колонны с фундаментом продавливается не все тело фундамента, а только дно стакана, как наиболее слабое звено фундамента. Аналогичная картина наблюдается при отсутствии

сил сцепления монолитного бетона со стенками стакана фундамента и колонной из-за загрязнений или наличия наледи.

В литературе практически отсутствуют сведения о влиянии качества исполнения стыка на усилие и характер продавливания фундамента колонной.

Целью исследования являлось:

– изучение характера продавливания фундамента в зависимости от способов замоноличивания зоны стыка с колонной при моделировании различного качества исполнения стыка в натуральных условиях;

– сопоставление результатов расчета на продавливание с опытными данными;

– разработка способа усиления фундамента при продавливании колонной.

В лабораторных условиях в масштабе 1:10 из мелкозернистого бетона изготавливали образцы фундаментов стаканного типа марки Ф30.7,5-1. Одновременно с образцами использовались контрольные бетонные кубики с размером грани 10 см, хранившиеся в тех же температурно-влажностных условиях, что и образцы фундаментов, и предназначенные для контроля прочности в заданные программой испытания сроки.

Образцы фундаментов – бетон класса В15, кубиковая прочность $\bar{R}=22,3$ МПа, высота сечения $h=75$ мм, $h_0=70$ мм, высота сечения дна стакана $h_1=30$ мм, $h_{01}=25$ мм, арматура из проволоки диаметром 1 мм, с шагом 6 мм.

Образцы колонн – бетон класса В20, кубиковая прочность $\bar{R}=28,4$ МПа, размеры сечения 40×40 мм, длина 160 мм.

Образцы колонны размещали в стакане фундаментов, а зазоры в стыке замоноличивали (монолит) мелкозернистым бетоном (испытано пять серий образцов в сборе, по три штуки в каждой). Серии различались способом замоноличивания стыка и прочностью бетона. В серии П1 исключалось сцепление колонны с монолитом за счет изоляции поверхности колонны пленкой. В серии П2 тем же способом исключалось сцепление стенок стакана фундамента с монолитом. В сериях П3-П5 варьировалась прочность бетона в монолите.

Результаты испытаний представлены в таблице и на рис.1.

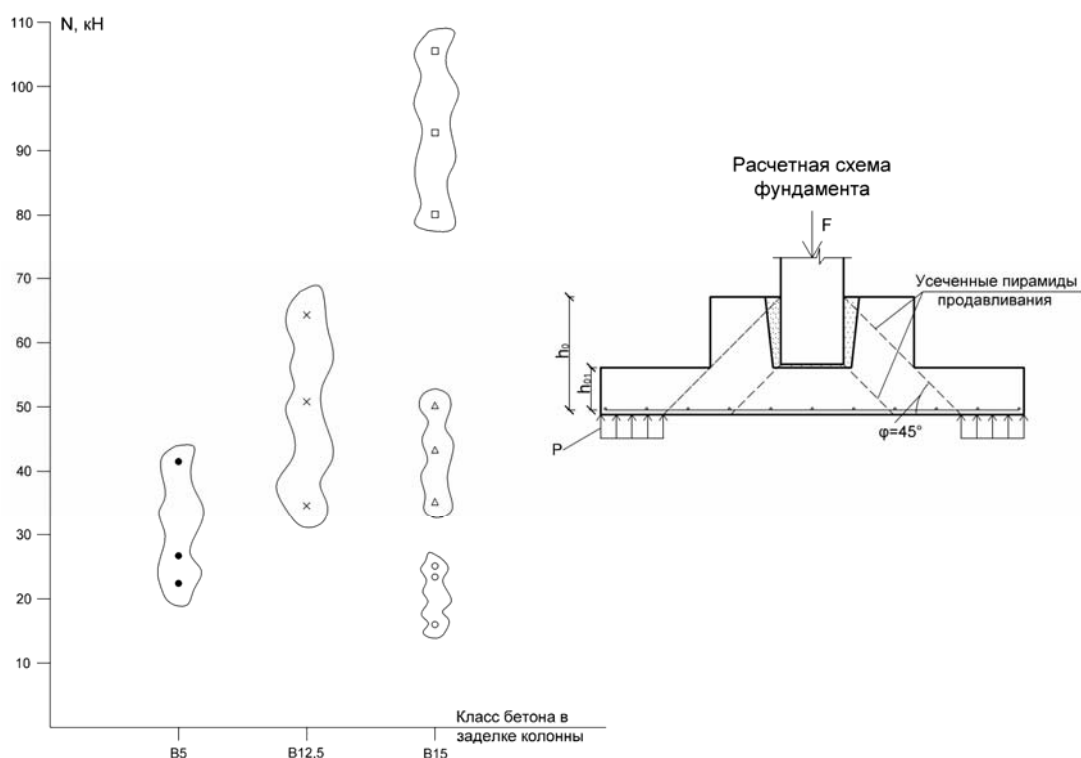


Рис.1. Результаты испытаний:

○ – серия П1; △ – серия П2; □ – серия П3; × – серия П4; ● – серия П5

Результаты испытаний образцов на продавливание

№ серии	Усилие продавливания F , кН	Относительная величина на усилия продавливания, %	Бетон в заделке колонны		Примечание
			Класс	Прочность, МПа	
П1	21,5	23,2	B15	22,3	Изолирована колонна
П2	42,8	46,1	B15	22,3	Изолированы стенки стакана
П3	92,8	100	B15	22,3	-
П4	49,9	53,8	B12,5	15,8	-
П5	30,2	33,5	B5	6,6	-

Расчетное усилие продавливания фундамента находилось в соответствии с пп. 2.8; 2.23 [3]:

$$N = \alpha \bar{R}_{bt} U_s h_0,$$

где \bar{R}_{bt} – сопротивление мелкозернистого бетона при растяжении,

$$\bar{R}_{bt} = 0,5 \sqrt[3]{R^2} = 0,5 \sqrt[3]{22,3^2} = 3,96 \text{ МПа};$$

U_s – среднее арифметическое периметров верхнего и нижнего оснований пирамиды продавливания; $h_0(h_{01})$ – полезная высота сечения; α – эмпирический коэффициент: $\alpha=1$ – при расчете тела фундамента на продавливание от отметки дна стакана до низа фундамента; $\alpha=0,75$ – то же от отметки верха стакана до низа фундамента.

Расчетное усилие продавливания от верха стакана до низа фундамента (серия П3):

$$F_f = 0,75 \cdot 3,96 \cdot 10^{-1} \cdot 44 \cdot 7 = 91,48 \text{ кН};$$

то же от дна стакана до низа фундамента (серия П1)

$$F_{st} = 3,96 \cdot 10^{-1} \cdot 26 \cdot 2,5 = 25,74 \text{ кН}.$$

Испытания показали, что усилие продавливания и характер разрушения фундамента существенно зависят от качества (способа) замоноличивания стыка.

Если принять за эталон усилие продавливания образцов серии П3, в которых прочность бетона замоноличивания была такая же, как и прочность бетона фундамента, и присутствовало сцепление, а пирамида продавливания начиналась от верха стакана фундамента, то в образцах серий П1, П5, одном из серии П4, двух из серии П2 пирамида продавливания начиналась от дна стакана.

Минимальные значения усилий продавливания были зафиксированы при испытании образцов серии П1, в которых отсутствовало сцепление монолита с колонной, и в образцах серии П5, где прочность монолита была значительно ниже прочности бетона фундамента. Усилия продавливания относительно эталона снизились соответственно на 76,8 и 66,5 %.

Отличие результатов расчета усилия продавливания от опытных данных в образцах серии П3 и П1 составило соответственно 1,4 и 13,7 %.

Для усиления от продавливания фундамента эксплуатируемого здания предлагается устройство, конструкция которого изображена на рис.2. Оно состоит из анкеров 1, закрепленных эпоксидным клеем в предварительно просверленных в теле фундамента шпурах; распределительной плиты 2, соединенной на гайках с анкерами; фасонки 3, соединенных на сварке с арматурой колонны и распределительной плитой.

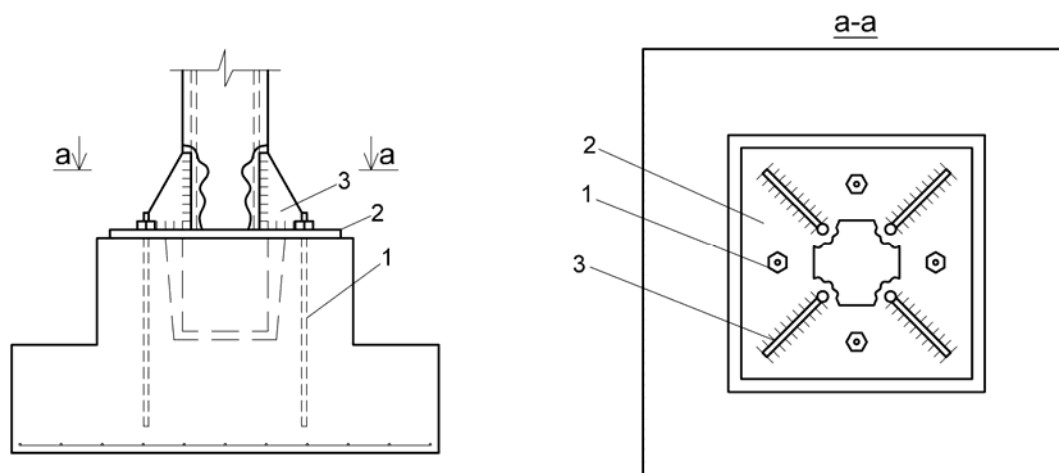


Рис. 2. Усиление зоны стыка колонны с фундаментом

Конструкция такого устройства обеспечит надежную работу фундамента на продавливание как при центральном, так и при внецентренном нагружении.

Выводы

1. Исследованы характер и усилие продавливания фундамента колонной в зависимости от способа замоноличивания стыка.
2. При отсутствии сцепления монолита с колонной, стенками стакана фундамента, а также при низкой прочности монолитного бетона продавливается дно стакана. Усилие продавливания относительно эталона снижается соответственно на 76,8 %, 53,9 %, 66,5 %.
3. Опытные значения усилий продавливания образцов серий ПЗ и П1 отличаются от расчетных соответственно на 1,4 и 13,7 %.
4. Предлагается устройство усиления, гарантирующее прочность фундамента от продавливания колонной независимо от качества замоноличивания стыка.

Список литературы

1. Митцел, А. Аварии бетонных и каменных конструкций / А. Митцел, В. Статурский, Я. Сувальский. – М.: Стройиздат, 1978.
2. Гроздов, В.Т. Дефекты строительных конструкций и их последствия / В.Т. Гроздов. – СПб., 2007.
3. Пособие по проектированию фундаментов на естественном основании под колонны зданий и сооружений (к СНиП 2.03.01-84 и СНиП 2.02.01-83). – М., 1989.

References

1. Mitzel, A. Accidents with concrete and masonry structures / A. Mitzel, V. Stahurskiy, J. Suwalski. – M.: Stroiizdat, 1978;
2. Grozdov, V.T. Defect structures and their consequences / V.T. Grozdov. – SPb., 2007.
3. Manual for design of foundations on natural basis under the columns of buildings and structures (to SNiP 2.03.01-84 and SNiP 2.02.01-83). – M., 1989.

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

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»

Кузьмишкин Алексей Александрович,
кандидат технических наук, доцент,
директор Института инженерной экологии
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Гарькин Игорь Николаевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: igor_garkin@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

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Building construction»

Kuzmishkin Alexei Alexandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Director of the Institute of Environmental
Engineering
E-mail: Kuzimishkin@yandex.ru

Garkin Igor Nikolaevich,
Postgraduate of the department «Building
structures»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ МОМЕНТОВ ИНЕРЦИИ КРАНОВЫХ РЕЛЬСОВ ПРИ КРУЧЕНИИ

К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин

Рассматривается увеличение моментов инерции крановых рельсов при кручении с целью повышения выносливости подкрановых балок.

Ключевые слова: крановый рельс, момент инерции, жёсткость при изгибе

METHOD OF INCREASING THE INERTIA MOMENTS OF CRANE RAIL AT TORSIONAL

K.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin

The article is devoted to the increasing the inertia moment of crane rails at torsion affecting the endurance of crane girders.

Keywords: crane rails, moment of inertia, flexural rigidity

Разработка и создание высокоресурсных подкрановых рельсов является актуальной проблемой для зданий тяжёлой промышленности. Надёжный способ повысить долговечность рельсов – это увеличить их моменты инерции. Авторами даны предложения по повышению моментов инерции крановых рельсов [1],[3], а также способы снижения напряжений[2],[4].

Крановые рельсы и конструкция верхней части подкрановой балки являются макрорегуляторами, амплитуды колебаний приводят к усталости стали в подрельсовой зоне подкрановых балок и вызывают появление и рост опасных усталостных трещин.

Управляя величиной основных характеристик кручения крановых рельсов $J_{кр}$ и изгиба J_x , легко управлять ресурсом и выносливостью подрельсовой зоны подкрановых балок с тяжёлым режимом работы мостовых кранов 8К, 7К.

Крановый рельс КР 140 по ГОСТ 4121–62* имеет недостаточные моменты инерции $J_{кр}$ и J_x . Величины $J_{кр}$ и J_x рельса КР 140 не хватает для снижения и минимизации амплитуд опасных колебаний локальных напряжений в подрельсовой зоне подкрановых балок на такую величину, чтобы не допустить зарождения опасных усталостных трещин в зоне стыка верхнего пояса со стенкой подкрановой балки.

Колебания локальных напряжений циклами приводят к возникновению усталостных трещин в зоне стыка верхнего пояса со стенкой подкрановых балок, а их быстрый рост и развитие в длину верхнего пояса увеличивают вероятность обруше-

ния подкрановой балки вместе с мостовым краном и грузом, например жидкой сталью. Усталостные трещины значительно снижают срок безопасной эксплуатации и ресурс подкрановых балок.

Гарантировать безопасную эксплуатацию подкрановых балок возможно путем совершенствования конструкции крановых рельсов и узлов их соединения с верхними поясами балок.

Результат – значительное (в 3...3,9 раза) увеличение момента инерции рельса при кручении $J_{кр}$, придание рельсу прокатом прямоугольного профиля сечения с отношением высоты сечения к его ширине $n = h/t = 2,6...2,8$, где h – высота сечения; t – толщина (ширина) сечения и снижение трудоёмкости проката, упрощением профиля сечения.

Способ повышения момента инерции рельса при кручении заключается в том, что прямоугольную заготовку отливают способом непрерывного литья из легированной марганцовистой стали марки 35ГС. Непрерывно-литую, прямоугольную в сечении заготовку остужают до температуры пластического состояния (950...1050 °С). По рольгангу поступательно транспортируют заготовку в клеть прокатного стана и всесторонне обжимают её валками прокатного стана с четырёх сторон.

Пластически деформируют сечение в прямоугольное с отношением высоты сечения к его ширине $n = h/t = 2,6...2,8$, где h – высота сечения; t – толщина (ширина) сечения, охлаждение водой ведут до температуры 535...580°С.

Повышают момент инерции рельса при кручении $J_{кр} = \eta b^4$ в 2,8...3,9 раза по сравнению со стандартным рельсом фигурного профиля, во время проката снабжают подошву рельса симметричной парой выступающих в бока продольных гребней сечением 15×15...20×20 мм для прикрепления к верхнему поясу подкрановой балки.

Монтируют готовый рельс в расширитель подошвы, совмещают отверстия в расширителе подошвы, и высокоресурсными шпильками неподвижно соединяют подошву прямоугольного рельса с верхним поясом подкрановой балки.

С гарантией затягивают гайковёртом гайки шпилек и образуют единый рельсовый блок, обладающий увеличенными в 10...12 раз моментами инерции при изгибе J_x Блок по сравнению со стандартным фигурным рельсом, без увеличения материалоемкости.

Момент инерции кручения $J_{кр}$ кранового рельса с фигурным профилем сечения ГОСТ4121-62* сильно зависит от толщины шейки рельса. Увеличение толщины шейки $t_{ш}$ рельса, при неизменной площади сечения A , приводит к быстрому увеличению момента инерции кручения $J_{кр}$, вплоть до превращения фигурного профиля сечения в квадрат или прямоугольник.

Однако снижение момента инерции изгиба J_x допускать не следует, так как он влияет на амплитуды колебаний локальных напряжений и на выносливость узла соединения.

В статьях [1],[3] показано, что превращение фигурного профиля рельса в квадрат с такой же площадью сечения приводит к экстремальному возрастанию момента инерции кручения $J_{кр}$ в 3,1 раза. Однако фигурный рельсовый профиль лучше вписывается в прямоугольник.

В современном сортаменте при расчёте на выносливость приходится использовать завышенные моменты инерции кручения $J_{кр}$ крановых рельсов ГОСТ 4121-62*, рассчитанные Митюговым Е.А. [5].

Моменты инерции кручения $J_{кр}$ рельсов и любых других сплошных профилей увеличиваются при концентрации материала в центре. Например, максимальным моментом инерции кручения обладает круглый в сечении сплошной стержень $J_{кр} = J_p = \pi D^4 / 32$, однако такой стержень для рельса плохо подходит. Прямоугольные сплошные профили также обладают большими моментами инерции кручения. Фигурный профиль рельса легко заменить эквивалентным двутавровым толстостенным рельсом, составленным из трёх прямоугольников, причём площадь сечения A и момент инерции рельса при изгибе J_x у них будут совпадать (табл. 1).

Вычисление $\Sigma J_{кр}$ толстостенных двутавровых рельсов, эквивалентных стандартным рельсам по ГОСТ 4121-62* с фигурным профилем

Моменты инерции	Площадь A , $см^2$	t , см	J_x , $см^4$	b , см $h_{ш}$, см	n	η	$J_{кр}$, $см^4$	$\Sigma J_{кр}$, $см^4$
КР140	195,53	5	7427,23	15,371	3,074	0,2963	186	1176,5
шейка		5		8,364	1,673	0,792	990,5	
КР120	150,44	4,4	4923,79	12,997	2,954	0,3218	485,4	485,4
шейка		4,4		8,2	1,863	0,4861	362,47	
КР100	113,32	3,8	2864,73	13,45	0,484	0,4835	336,92	269,15
шейка	14,906	3,8		7,306	1,923	0,3238	67,514	
КР80	81,13	3,2	1547,4	9,4194	2,944	0,4886	102,425	150,5
шейка		3,2		6,514	2,036	0,4584	48,07	
КР70	67,3	2,8	1081,09	8,966	3,202	0,7966	97,93	126,4
шейка		2,8		6,104	2,18	0,4632	28,47	

П р и м е ч а н и е . $h_{ш}=(h-2t)$.

В табл. 2 приведены параметры толстостенных двутавровых в сечении рельсов, эквивалентных по площади A и моментам инерции J_x стандартным крановым рельсам по ГОСТ 4121-62*. Для стандартных крановых рельсов рекомендуем использовать в расчётах такие же моменты инерции при свободном кручении, так как эквивалентные профили подобраны при точном совпадении площадей A моментов инерции рельсов J_x .

Т а б л и ц а 2

Толстостенные двутавровые рельсы, эквивалентные стандартным фигурным рельсам по ГОСТ 4121-62*

Тип рельса	Площадь A , $см^2$	J_x , $см^4$	Толщина t , см	b , см	h , см	$J_{кр}$, $см^4$
КРmax	246,14	13576,4	5,6	16,5	22	2033,7
КР 140	195,53	7427,23	5	15,371	18,364	1176,5
КР 120	150,44	4923,79	4,4	13,0	17,0	485,4
КР100	113,32	2864,73	3,8	13,45	14,906	404,4
КР80	81,13	1547,4	3,2	9,419	12,9144	150,5
КР70	67,3	1081,09	2,8	8,9657	11,7044	126,4

КРmax эквивалентен прямоугольному рельсу. Определяем высоту сечения из уравнения третьей степени

$$h^3 - 60,8 h^2 + 309,1 h + 11655,1 = 0 \Rightarrow h = 22.$$

Трансформируем стандартный крановый рельс (ГОСТ 4121-62*) с фигурным профилем сечения КР 140 с площадью сечения $A = 195,53 \text{ см}^2$, в эквивалентный равновеликий по площади сечения A и с таким же моментом инерции при изгибе $J_x = 7427,23 \text{ см}^4$ прямоугольный рельс по следующему алгоритму:

1. Задаём площадь сечения рельса КР 140 (ГОСТ 4121-62*):
 $A = 195,53 \text{ см}^2$ и моментом инерции $J_x = 7427,23 \text{ см}^4$.
2. Записываем момент инерции прямоугольного рельса относительно главной оси X :
3. Определяем высоту сечения немного выше, чем у стандартного рельса.
4. Определяем толщину t прямоугольного рельса
5. Определяем момент инерции кручения $J_{кр} = \eta \cdot t^4$, где коэффициент η находим в зависимости от отношения.

Увеличение $3293,9/1176,5 = 2,8$ раза.

6. Дополнительный массивный рельс КР max $A = 246,14 \text{ см}^2$.

7. Задаём $n = h/t = 2, (6) \Rightarrow t = h/n \Rightarrow t = h/2, (6)$
8. Определяем высоту сечения $h = A/n = 246,14 \cdot 2, (6) = 25,62$.
9. Определяем толщину $t = h/n = 25,62 / 2, (6) = 9,6075$.
10. Вычисляем момент инерции при изгибе.
11. Вычисляем момент инерции при кручении
 $J_x \Rightarrow = \eta \cdot t^4 = 0,47938 \cdot 9,6075^4 = 4084,34$.

В табл. 3 рассчитаны параметры рельсов прямоугольного сечения.

Совпадение площадей A и моментов инерции рельсов J_x прямоугольного сечения, со стандартными крановыми рельсами по ГОСТ 4121-62* с толстостенными двутавровыми рельсами гарантирует эквивалентность замены и близкое совпадение моментов инерции кручения $J_{кр}$.

Т а б л и ц а 3

Прямоугольные рельсы, равноценные по площади сечения и моменту инерции J_x толстостенным двутавровым рельсам

Тип рельса	Площадь $A, \text{см}^2$	$J_x, \text{см}^4$	$t, \text{см}$	$h, \text{см}$	n	$J_{кр}, \text{см}^4$	Увеличено, раз
КР max	246,14	13463,31	9,607	25,62	2,(6)	4084,34	2,01
КР 140	195,53	7427,23	9,158	21,35	2,7466	3293,91	2,8
КР120	150,44	4923,79	7,59	19,82	2,61	1585,66	3,267
КР100	113,32	2864,73	6,506	17,417	2,667	859,61	3,92
КР80	81,13	1547,4	5,363	15,129	2,821	400,71	2,66
КР70	67,3	1081,09	4,847	13,884	2,864	268,3	2,12

Сопоставление со стандартным рельсом выявляет следующие положительные свойства прямоугольных в сечении рельсов:

1. Трансформация стандартных крановых рельсов (ГОСТ 4121-62*) в эквивалентные прямоугольные приводит к увеличению моментов инерции кручения $J_{кр}$ 2,8...3,9 раз при неизменной материалоемкости и моменте инерции рельсов при изгибе J_x .

- Упрощён прокат рельсов, так как фигурный профиль заменён прямоугольным профилем.
- Обеспечено неподвижное без сдвигов соединение прямоугольного в сечении рельса с верхним поясом подкрановой балки.

Добавлен новый профиль – массивный крановый рельс КР max, обладающий тем же моментом инерции при изгибе J_x и кручении $J_{кр}$.

Крановый рельс КР max позволяет снижать амплитуды циклов колебания локальных напряжений, приводящих к возникновению усталостных трещин в зоне стыка верхнего пояса со стенкой подкрановых балок до минимальных значений и не допускать возникновения усталостных трещин.

Крановый рельс КР max значительно увеличивает ресурс подрельсовой зоны подкрановых балок, и позволяет гарантировать безопасную интенсивную эксплуатацию в течение 20 и более лет при тяжёлом 8К, 7К режиме работы мостовых кранов.

- Получены математические зависимости, позволяющие с достаточной точностью определять моменты инерции кручения $J_{кр}$ и другие параметры толстостенных двутавровых рельсов, эквивалентных фигурным профилям стандартных рельсов.

Значительный экономический эффект возникает из-за повышения ресурса и выносливости подрельсовой зоны подкрановых балок с тяжёлым режимом работы мостовых кранов.

Список литературы

1. Нежданов, К.К. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении / К.К. Нежданов, А.К. Нежданов, И.Н. Гарькин // Строительная механика и расчёт сооружений. – 2011. – № 6. – С.30.

2. Данилов, А.М. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительства. – 2012. – №3 (14). – С.85–89.
3. Нежданов, К.К. Применение толстостенных двутавровых крановых рельсов / К.К. Нежданов, А.А. Кузьмишкин, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3 (14) – С. 79–84.
4. Данилов А.М. Моделирование сопровождающей вибрации при ударе / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Отраслевые аспекты технических наук. – 2012. – №9 (Сентябрь). – С.3–6.
5. Митюгов, Е.А. К определению моментов инерции крановых рельсов / Е.А. Митюгов // Строительная механика и расчёт сооружений. – 1968. – № 5.

References

1. Nezhdanov, K.K. Extreme increase the moment of inertia of rails torsional / K.K. Nezhdanov, A.K. Nezhdanov, I.N. Garkin // Structural Mechanics and the calculation of constructions. – 2011. – № 6. – P.30.
2. Danilov, A.M. Protection from shock and vibration is accompanied by: the exponential-trigonometric function fitting / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Regional architecture and construction. – 2012. – № 3 (14). – P.85–89.
3. Nezhdanov, K.K. The use of thick-walled I-beam crane rails / K.K. Nezhdanov, A.A. Kuzmishkin, I.N. Garkin // Regional Architecture and construction. – 2012. – № 3 (14). – С. 79–84.
4. Danilov, A.M. Modeling accompanying vibration at impact / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Sectoral Dimensions Engineering. – 2012. – № 9 (September). – P.3–6.
5. Mityugov, E.A. By definition, the moments of inertia of crane rails / E.A. Mityugov // Structural Mechanics and payment constructions. – 1968. – № 5.

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

Нежданов Кирилл Константинович,
доктор 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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Nezhdanov Kirill Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Building construction»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Artyushin Dmitriy Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Building constructions»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

НОВЫЙ ВИД ВИНТОВОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ АРМАТУРЫ ДЛЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

К.К. Нежданов, Д.В. Артюшин

Рассмотрен новый вид арматуры периодического профиля для железобетонных конструкций, позволяющий стыковать её по длине с помощью винтовых муфт. Обосновано преимущество разработанной арматуры по сравнению с известными аналогами.

Ключевые слова: новый вид арматуры, способ проката арматуры, надёжность и технологичность соединений, армирование железобетонных конструкций, повышение огнестойкости конструкций

A NEW KIND OF HOT ROLLED SPIRAL ARMATURE FOR REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

K.K. Nezhdanov, D.V. Artyushin

This article describes a new kind of armature periodic profile for reinforced concrete structures where connections on length are carried out by means of spiral couplings. Possible advantages of the designed armature in comparison with the known analogs are given.

Keywords: a new kind of spiral armature, a way of armature production, reliability and technological effectiveness of connections, reinforcement of ferroconcrete structures, increase of fire resistance of structures

Стальная арматура, являясь неотъемлемой частью железобетонных конструкций, применяется главным образом в виде отдельных деталей и арматурных изделий (каркасов и сеток). В настоящее время наиболее распространена горячекатаная стержневая арматура периодического профиля с поперечными рифами (гребнями) на поверхности для улучшения её сцепления с бетоном [1, 2], причём гребни образуются продольным прокатом в горячем состоянии, рис. 1.

Существенным недостатком такой арматуры является то, что стыковать её по длине с помощью гаек или винтовых муфт невозможно, поэтому, как правило, используют сварные соединения либо менее распространённые несварные стыки (например, при помощи обжимных муфт). Стыковка стержней при помощи ручной сварки имеет высокую трудоёмкость, при этом на строительной площадке автоматизация этого процесса осложнена. Кроме того, при производстве работ в зимних условиях при отрицательных температурах ручная сварка значительно снижает качество и надёжность узловых соединений и, следовательно, всего сооружения в целом.

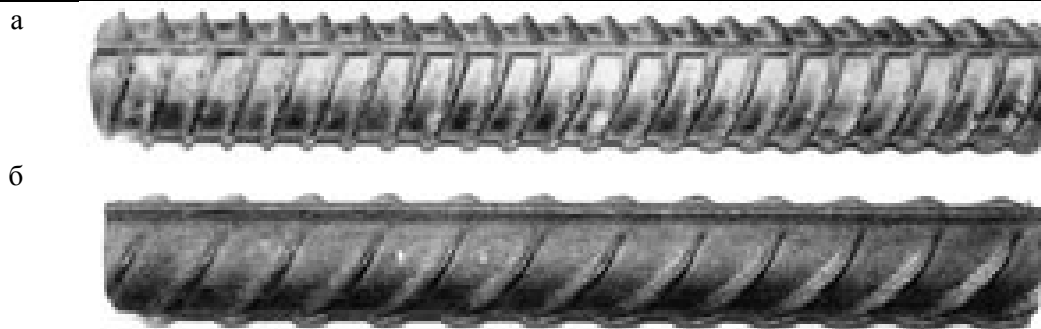


Рис. 1. Виды стержневой арматуры периодического профиля:
а – по ГОСТ 5781-82*[1]; б – по ГОСТ 10884-94 [2]

Очевидно, что надёжность и технологичность соединений стержней без применения сварки легко повысить при их соединении гайками либо муфтами, при этом рифы на поверхности арматуры целесообразно накатывать поперечной накаткой по винтовой спирали (рис. 2).

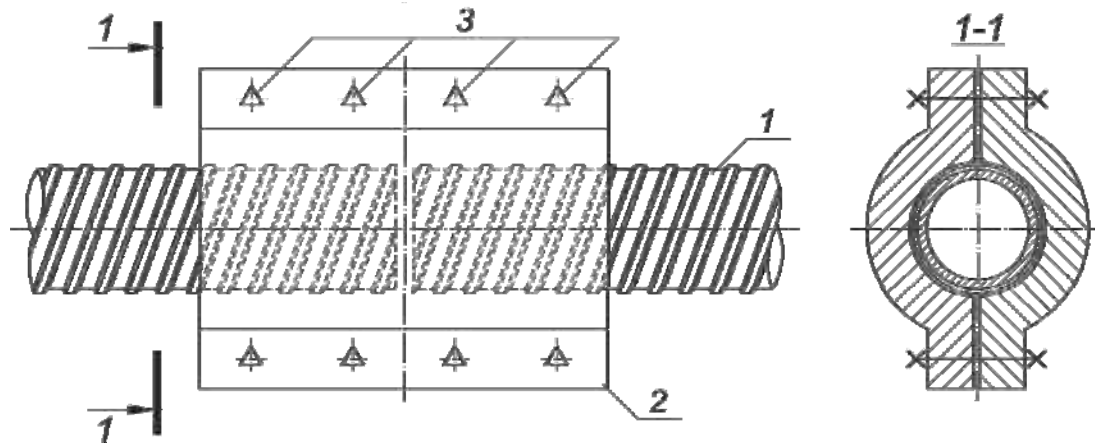


Рис. 2. Стыковое соединение стержневой арматуры с помощью продольно-разъёмных муфт:
1 – горячекатаная арматура с винтовой спиралью; 2 – продольно-разъёмная муфта, изготовленная прокатом из малоуглеродистой стали марки ВСт5сп5 (по ГОСТ 2777-88);
3 – высокопрочные шпильки из стали марки 40Х «Селект» (по ГОСТ 4543-71*)

Также следует отметить, что одним из наиболее актуальных вопросов безопасной эксплуатации зданий и сооружений на данный момент является обеспечение огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций [3]. При возникновении пожара и повышении температуры традиционно применяемой стальной арматуры до 600 °С её модуль упругости стремится к нулю, что приводит к обрушению конструкции. Если же арматуру выполнить трубчатого профиля, то её можно легко охладить прокачкой воды, тем самым исключить возможность обрушения конструкции при пожаре. Кроме того, выполнение арматуры трубчатого профиля с гребнями, накатанными по винтовой спирали расширяет область применения её для анкерных болтов колонн, станков и т.п.

В [4] рассматривается новый способ проката винтовой арматуры из легированной стали марок 25Г2С, 30ХГ2С, 35ГС в горячем состоянии не только сплошного, но и трубчатого профиля, причем её гребни предлагается плавно накатывать на прокатном стане поперечной накаткой в горячем состоянии по правой или левой винтовой однозаходной или многозаходной спирали. На рис. 3 (а, б) показан новый вид горячекатаной трубчатой арматуры 1 с внешними рифами 2 по винтовой спирали и её поперечный разрез, соответственно.

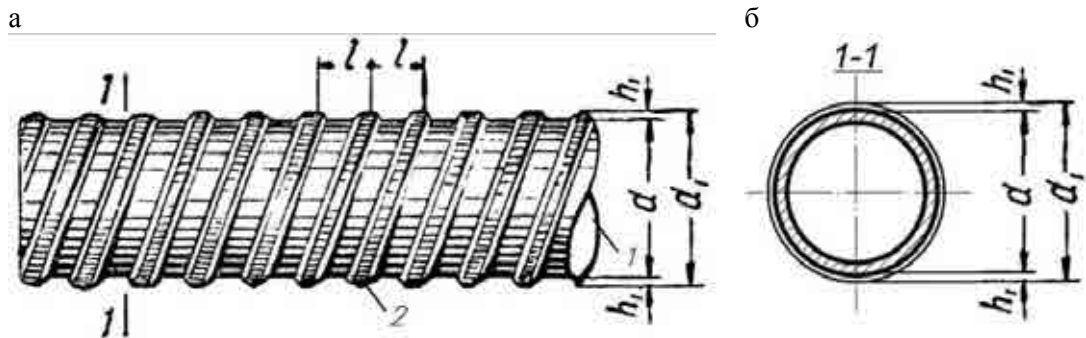


Рис. 3. Общий вид и поперечный разрез горячекатаной трубчатой арматуры периодического профиля с винтовой спиралью:

1 – горячекатаная трубчатая арматура; 2 – винтовые рифы на поверхности арматуры

Увеличивая внешнюю поверхность арматуры, контактирующую с бетоном, улучшают её сцепление с бетоном и, следовательно, анкеровку. Кроме того, очевидно, что при увеличении диаметра арматуры, без увеличения площади поперечного сечения, повышается несущая способность арматуры при её работе на сжатие (пропорционально уменьшению гибкости) и изгиб. Следовательно, для улучшения характеристик железобетонных конструкций целесообразно прокатывать арматуру из трубчатых заготовок с полостью внутри.

Сопоставление разработанной горячекатаной трубчатой арматуры периодического профиля [4] с аналогом [1] показывает следующие возможные существенные преимущества (см. таблицу):

- горячекатаная трубчатая арматура снабжается рифами по правой или левой винтовой однозаходной или многозаходной спирали, причём гребни накатываются на прокатном стане поперечной накаткой в горячем состоянии [4], что даёт возможность значительно повысить технологичность и надёжность стыков арматуры с помощью винтовых муфт без применения сварки;
- увеличивается сцепление арматуры пропорционально увеличению поверхности её контакта с бетоном, т.е. примерно в 3 раза;
- повышается несущая способность арматуры при работе на сжатие и изгиб (радиус инерции увеличивается в 4,13 раза, а момент инерции при изгибе – в 16,56 раза);
- повышается огнестойкость железобетонных конструкций;
- расширяется область применения винтовой арматуры нового трубчатого профиля с рифами.

Вид арматуры	Диаметр \varnothing , мм	Площадь сечения, см^2	Масса, кг/м	Момент инерции J_x , см^4	Радиус инерции i_x , см
• Аналог	60	28,3	22,2	63,6 (100 %)	1,5
• Новая, трубчатого профиля	180×5	27,5	21,6	1053,2 (1656 %)	6,2

Список литературы

1. ГОСТ 5781-82*. Сталь горячекатаная для армирования железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1993.
2. ГОСТ 10884-94. Сталь арматурная термомеханически упрочненная для железобетонных конструкций. Технические условия. – М.: Издательство стандартов, 1995.

3. СТО 36554501-006-2006. Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. – М.: ФГУП «НИЦ «Строительство», 2006.
4. Пат. 2467075 Российская Федерация, С21D 8/08, В21Н 1/18, E04C 5/03. Способ проката горячекатаной арматуры периодического профиля / Нежданов К.К., Нежданов А.К., Артюшин Д.В. – зарег. 20.11.2012, Бюл. №32.

References

1. GOST 5781-82*. Hot-rolled steel for reinforcement. Specifications. – М.: Publishing House of Standards, 1993.
2. GOST 10884-94. Reinforcing steel thermo hardened for concrete structures. Specifications. – М.: Publishing House of Standards, 1995.
3. СТО 36554501-006-2006. Rules on ensuring fire resistance of reinforced concrete structures. – М.: FSUE «SRC»Construction», 2006.
4. Pat. 2467075 Russian Federation, C21D 8/08, В21Н 1/18, E04C 5/03. The way of hire of hot-rolled armature of a periodic profile / Nezhdanov K.K., Nezhdanov A.K., Artyushin D.V. – regist. 20.11.2012, Bull. №32.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 628.34

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

Полубояринов Павел Аркадьевич,
кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент кафедры «Физика и химия»
E-mail: pashal@sura.ru

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»

Давыдов Геннадий Павлович,
аспирант кафедры «Физика и химия»

*Penza State University of Architecture
and Construction*
Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77

Poluboyarinov Pavel Arkadyevich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Physics and chemistry»
E-mail: pashal@sura.ru

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»

Davydov Gennady Pavlovich,
Postgraduate of the department «Physics and
chemistry»

ОЦЕНКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА БИОМАССЫ ХЛОРЕЛЛЫ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ В ПРОЦЕССАХ ЕСТЕСТВЕННОЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД

П.А. Полубояринов, С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, Г.П. Давыдов

Приведены результаты лабораторных исследований химического состава хлореллы, используемой в процессах биологической очистки сточных вод ОАО ПФ «Васильевская». Показано, что состав и соотношение аминокислот в биомассе хлореллы свидетельствуют о ее высокой биологической ценности.

Ключевые слова: искусственная альголизация, биомасса хлореллы, аминокислотный состав, состав белковых фракций, незаменимые аминокислоты, содержание пигментов

ASSESSMENT OF CHEMICAL COMPOSITION OF CHLORELLA BIOMASS USED IN PROCESSES OF NATURAL BIOLOGICAL TREATMENT OF SEWAGE

P.A. Poluboyarinov, S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, G.P. Davydov

Results of laboratory investigations of chlorella chemical composition used in processes of sewage biological treatment of poultry farm «Vasilievskaya» are presented. It is shown that composition and ratio of amino acids in chlorella biomass indicates its high biological value.

Keywords: artificial seaweed addition, chlorella biomass, amino acid composition, composition of protein fractions, essential amino acids, content of pigments

Сброс недостаточно очищенных вод предприятий пищевой промышленности в открытые водоемы является существенным фактором, приводящим к ухудшению их состояния. Предотвращение дальнейшего развития процессов антропогенного загрязнения и эвтрофирования водных объектов требует решения весьма сложной и дорогостоящей проблемы повышения эффективности канализационных очистных сооружений.

Существенно повысить барьерную функцию канализационных очистных сооружений возможно за счет использования технологии естественной биологической очистки сточных вод в проточных биологических прудах. В прудах, представляющих собой искусственно созданные водоемы, осуществляются биологические процессы, идентичные процессам, происходящим при самоочищении естественных водоемов.

Биологические пруды обеспечивают значительно более высокий эффект удаления органических загрязнений и биогенных элементов, чем сооружения искусственной биологической очистки.

К достоинствам биологических прудов относят: сравнительно низкие строительные и эксплуатационные затраты, высокий уровень очистки сточных вод, значительную буферную способность при залповых сбросах сточных вод, высокую степень обеззараживания и изъятия из сточных вод биогенных элементов.

В 2006 году институтом «Пензаагропроект» в соответствии с рекомендациями научно-исследовательского института «Прогресс» (г. Москва) была разработана проектная документация на строительство сооружений естественной биологической очистки сточных вод ОАО «Птицефабрика Васильевская» Пензенской области производительностью 1300 м³/сут. Предлагаемая технология естественной биологической очистки предусматривает использование следующей последовательности технологических процессов: аккумулярование сточных вод в холодное время года в прудах-накопителях, очистка сточных вод в водорослевых прудах; доочистка в рачковых прудах; глубокая доочистка на биоплато с высшей водной растительностью (рогоз, тростник).

В 2008 году сооружения естественной биологической очистки были запущены в эксплуатацию.

В связи с увеличением расхода сточных вод до 3500 м³/сут в 2012 году были введены в эксплуатацию 2 новые очереди новых прудовых систем естественной биологической очистки.

Опыт эксплуатации водорослевых прудов ОАО «Птицефабрика Васильевская» выявил ряд негативных моментов. В результате естественной альголизации водорослевых прудах интенсивно развивались сине-зеленые водоросли преимущественно *Microcystis aeruginosa*. Поскольку сине-зеленые водоросли в процессе своей жизнедеятельности выделяют высокотоксичные альготоксины, доочистка сточных вод не происходила. Рачки в рачковых прудах не развивались. Сточные воды на выходе с биоплато имели повышенную цветность, в них присутствовали в значительных количествах не утилизированные в рачковых прудах токсичные формы фитопланктона.

В 2012 году сотрудниками Пензенского Государственного Университета Архитектуры Строительства (ПГУАС) и НИИ «Альгобиотехнологии» г. Пензы была проведена реабилитация экосистемы водорослевых прудов за счет их искусственной альголизации штаммом *Chlorella vulgaris* BIN ИФР № С-111 [1].

Поскольку выбранный штамм проявляет ярко выраженные антагонистические свойства к альгофлоре, бактериям и грибам, искусственная альголизация позволила полностью вытеснить из биоценоза водорослевых прудов сине-зеленые водоросли. Штамм *Chlorella vulgaris* BIN ИФР № С-111 строго соблюдал условия монокультуры и обладал невосприимчивостью к фагам. В процессе культивирования штамма на сточных водах птицефабрики наблюдался эффект полного их обеззараживания. Вся полученная биомасса хлореллы полностью утилизировалась в рачковых прудах. Концентрация органических соединений на выходе с биоплато (БПК_{полное}) не превышала 5 мг/л. Общий вид водорослевого пруда, прошедшего искусственную альголизацию штаммом *Chlorella vulgaris* BIN ИФР № С-111, представлен на рис. 1.



Рис.1. Общий вид водорослевого пруда, прошедшего искусственную альголизацию

По имеющимся литературным данным, биомасса хлореллы обладает высокой кормовой ценностью и характеризуется высоким содержанием белков, незаменимых аминокислот, витаминов, пигментов и может быть использована в качестве кормовой добавки [2].

С целью определения количества биомассы, получаемой в водорослевых прудах ОАО «Птицефабрика Васильевская», и установления ее биологической ценности сотрудниками ПГУАС был проведен ряд лабораторных исследований.

Сточные воды, отобранные на выходе из биологических прудов (период культивирования 7 суток), обрабатывались в центрифуге при скорости 3000 об./мин. Величина сырой биомассы хлореллы, полученной в результате центрифугирования, определялась весовым способом. Также определялось сухое вещество биомассы хлореллы путем обработки проб в сушильном шкафу при температуре 105 °С.

В результате проведения лабораторных исследований было установлено, что концентрация сырой биомассы хлореллы, получаемой в результате центрифугирования, составляет 2–3 г/л. Концентрация биомассы хлореллы по сухому веществу составляла 0,2–0,3 г/л. Проведенные исследования показали, что в водорослевых прудах ОАО «Птицефабрика Васильевская» удалось достичь высокой плотности биомассы сопоставимой с плотностью биомассы искусственных культиваторов работающих в идеальных условиях.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в течение суток на «ПФ Васильевская» образуется 0,7–1,05 тонн сухой биомассы хлореллы.

На втором этапе исследований определялась биологическая ценность биомассы хлореллы, культивированной в водорослевых прудах «ПФ Васильевская».

Из литературных данных известно, что сухой порошок хлореллы представляет очень ценный источник белков, аминокислот, витаминов и пигментов[2].

Биологическая ценность белков во многом зависит от состава и соотношения белковых фракций, которые извлекают различными растворителями. Суммарный белок разделяют на альбумины – водорастворимые белки, глобулины – белки, растворимые в растворах солей, проламины – спирторастворимые белки и глютелины – щелочерастворимые белки (табл. 1).

Интерес к анализу белков определяется в основном тем фактом, что по отношению основных фракций можно косвенно оценить аминокислотный состав данного белка без перехода к аминокислотному анализу. Установлено, что сумма незаменимых аминокислот выше в альбуминах и глобулинах; проламины содержат крайне мало важных для человека и животных лизина метионина и триптофана, что снижает биологическую ценность данной фракции [3].

Белки из порошка хлореллы экстрагировали по методу Ермакова – Дурыниной [3]. Концентрацию белков определяли по методу Бредфорда.

Результаты исследований состава фракций белков, экстрагированных из порошка хлореллы, представлены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Состав фракций белков хлореллы, экстрагированных из порошка хлореллы

Фракции белков	Концентрация, мг/л	Массовая доля белков в пробе, %
Альбумины	23,1±1,2	2,31±0,12
Глобулины	10,6±0,4	1,06±0,04
Проламины	11,4±0,5	1,14±0,05
Глутелины	47,4±2,5	4,74±0,25
Σбелков	92,5±4,6	9,25±0,46

Анализ данных, приведенных в табл. 1, позволяет сделать вывод о малом содержании белка в порошке хлореллы (всего 9,25 %), однако содержание белка, определяемое методом Кельдаля, основанном на полном сжигании пробы, по литературным данным, превышает 50 % [2].

По всей видимости, при используемом нами методе определения белка большая его часть не экстрагируется растворами из-за наличия прочной клеточной стенки хлореллы.

С целью определения дополнительного количества внутриклеточных аминокислот порошок хлореллы был подвергнут кислотному и щелочному гидролизу.

Для анализа 13 аминокислот проводили кислотный гидролиз порошка хлореллы. Дериватизацию с получением ФТК-производных аминокислот и последующий анализ проводили по стандартной методике фирмы «Люмэкс» [4] с использованием системы капиллярного электрофореза «Капель 105 М» в фосфатном буфере, при температуре 30 °С, длине волны 254 нм.

Электрофореграмма аминокислот в кислотном гидролизате порошка хлореллы представлена на рис. 2.

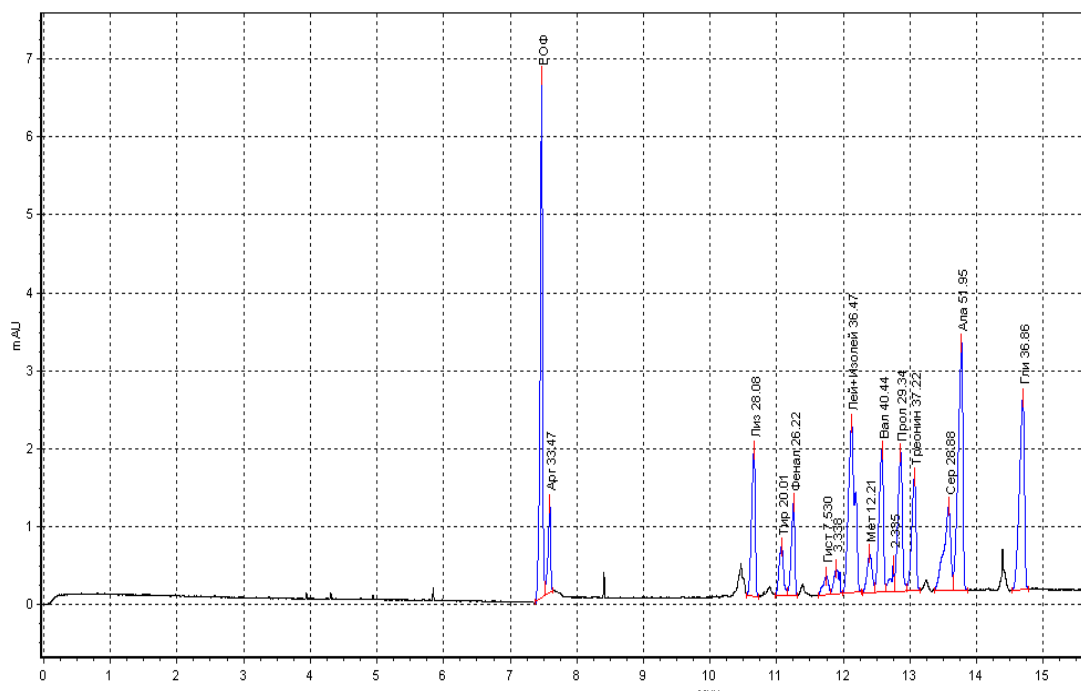


Рис. 2. Электрофореграмма аминокислот в кислотном гидролизате порошка хлореллы

Для анализа трех аминокислот проводили кислотный гидролиз порошка хлореллы с обработкой окислительной смесью по стандартной методике фирмы «Люмекс».

Электрофореграмма аминокислот в кислотном гидролизате порошка хлореллы с окислительной смесью представлена на рис. 3.

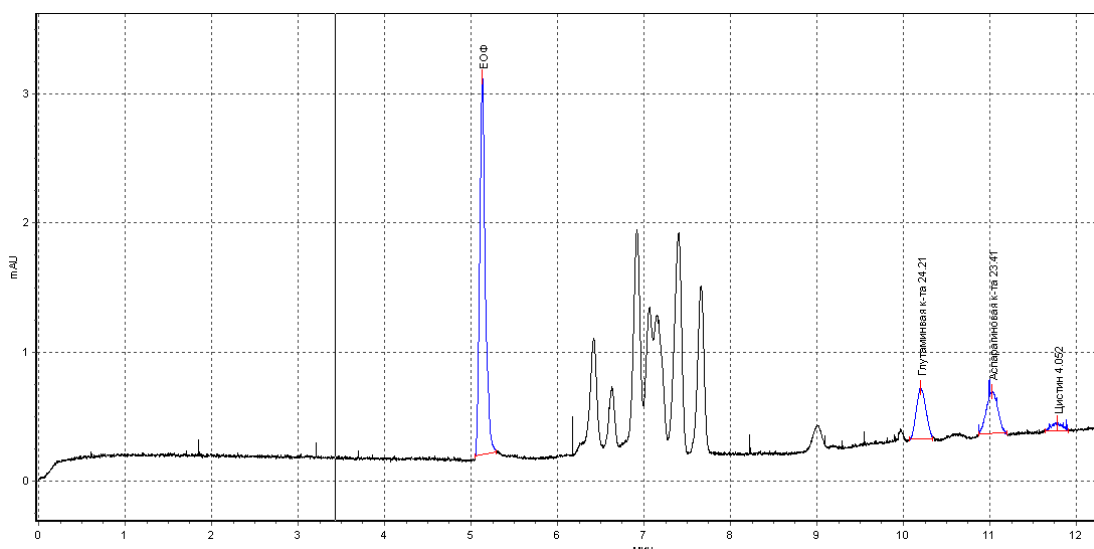


Рис. 3. Электрофореграмма аминокислот в кислотном гидролизате порошка хлореллы с окислительной смесью

Для анализа аминокислоты триптофана проводили щелочной гидролиз порошка хлореллы.

Электрофореграмма аминокислоты триптофана в щелочном гидролизате порошка хлореллы представлена на рис. 4.

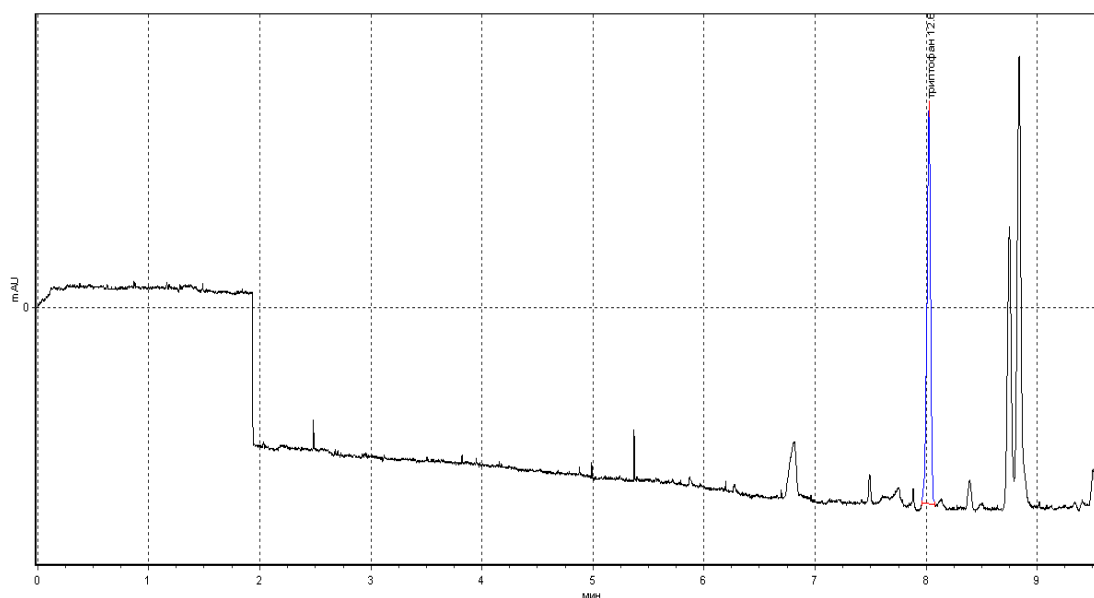


Рис. 4. Электрофореграмма аминокислоты триптофана в щелочном гидролизате порошка хлореллы

Результаты исследований состава фракций аминокислот гидролизата белков порошка хлореллы представлены в табл. 2.

Содержание аминокислот в гидролизате порошка хлореллы

№ п/п	Название аминокислоты	Концентрация, мг/л	Массовая доля аминокислоты в пробе, %
1	Аргинин	23,3 ± 3,1	2,33±0,31
2	Лизин *	23,7±1,3	2,37±0,13
3	Тирозин	13,6±0,6	1,36±0,06
4	Фенилаланин*	21,2±0,3	2,12±0,03
5	Гистидин	1,1±0,1	0,11±0,01
6	Лейцин + Изолейцин*	27,7±0,4	2,77±0,04
7	Метионин*	8,2±1,3	0,82±0,13
8	Валин*	27,6±0,4	2,76±0,04
9	Пролин	20,3±0,8	2,03±0,08
10	Треонин*	25,6±0,9	2,56±0,09
11	Серин	18,2±2,5	1,82±0,25
12	Аланин	43,5±5,8	4,35±0,58
13	Глицин	26,5±1,1	2,65±0,11
14	Глутаминовая кислота	30,2±5,6	3,02±0,56
15	Аспарагиновая кислота	28,40±5,4	2,84±0,54
16	Цистин (цистеиновая кислота)	3,3±0,9	0,33±0,09
17	Триптофан*	12,68±1,5	0,63±0,05
	Итого аминокислот	355,08±32	34,87±3,2

* – незаменимые аминокислоты.

По количеству аминокислот, содержащихся в порошке хлореллы, их условно можно разделить на 3 группы. К первой группе аминокислот, содержащихся в высокой концентрации в порошке хлореллы (более 2,5 %), можно отнести аланин (4,35±0,58 %), глутаминовую кислоту (3,02±0,56 %) и аспарагиновую кислоту (2,84±0,54 %). Также в эту группу входят незаменимые для человека аминокислоты – валин (2,76±0,04 %), треонин (2,56±0,09 %), а также смесь лейцина + изолейцина (2,77±0,04 %) и малоценный глицин (2,65±0,11 %).

В следующую группу (от 2,5 до 2,0 %) входят очень важные незаменимые аминокислоты – лизин (2,37±0,13 %), аргинин (2,33±0,31 %) и фенилаланин (2,12±0,03 %), а также пролин (2,03±0,08 %) и серин (1,82±0,25 %).

В третью группу аминокислот (менее 2,0 %) входят серин (1,82±0,25 %), тирозин (1,36±0,06 %) и незаменимые метионин (0,82±0,13 %), триптофан (0,63±0,05 %), цистин (0,33±0,09 %) и гистидин (0,11±0,01 %).

Таким образом, сухой порошок хлореллы является очень ценным с точки зрения содержания аминокислот продуктом, сумма 18 аминокислот в котором составляет 34,87 % от массы сухого порошка хлореллы. Из них сумма незаменимых аминокислот составляет 14,03 %.

Другим важным компонентом, содержащимся в биомассе хлореллы, являются пигменты: каротин и лютеин (ксантофилл), хлорофилл А и хлорофилл Б, которые являются важными витаминами и антиоксидантами. В ходе анализа количества пигментов проводили их экстракцию ацетоном из биомассы хлореллы с последующим разделением методом ТСХ и количественным анализом на КФК-3[5].

Полученные результаты представлены в форме гистограммы, изображенной на рис. 5.

Из рис. 5 можно заключить, что наибольшее количество пигментов представлено хлорофиллами: хлорофиллом А (0,46±0,07) и хлорофиллом Б (0,37±0,03 мг/г), а также каротиноидами: каротином (0,09±0,01) и ксантофиллом – лютеином (0,24±0,04). В целом содержание пигментов в биомассе хлореллы соответствует их содержанию в наземных растениях, где содержание каротиноидов колеблется от 0,1–0,5 мг/г, а хлорофилла – 0,5–3 мг/г [5].

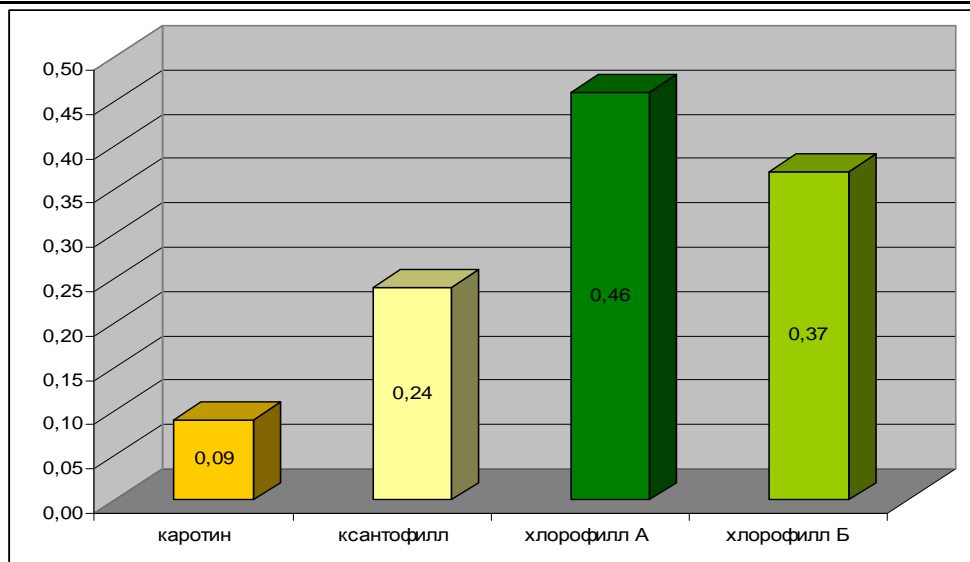


Рис. 5. Состав пигментов свежей биомассы хлореллы

Таким образом, в результате проведенных исследований было установлено значительное накопление биомассы хлореллы в воде водорослевых биопрудов.

Состав и количество незаменимых аминокислот в биомассе хлореллы свидетельствует о ее высокой биологической ценности и перспективности ее использования в качестве кормовой добавки. Использование автолизата биомассы хлореллы позволит существенно повысить усвояемость содержащихся в ней белков.

Содержание некоторых незаменимых аминокислот в порошке хлореллы можно оценить как высокое, что позволяет отнести его к ценным кормовым добавкам. Содержание пигментов – хлорофиллов А и Б и каротиноидов – в сырой биомассе хлореллы близко к содержанию в наземных растениях.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Новая технология предварительной очистки сточных вод / С.Ю. Андреев, П.А. Полубояринов, И.А. Гарькина, Г.П. Давыдов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С.107–113.
2. Богданов, Н.И. Суспензия хлореллы в рационе сельскохозяйственных животных / Н.И. Богданов. – Пенза, 2007. – 48 с.
3. Минеев, В.Г. Практикум по агрохимии / В.Г. Минеев [и др.]. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
4. ГОСТ Р 55569–2013. Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Определение протеиногенных аминокислот методом капиллярного электрофореза. – М.: Изд-во стандартов, 2013. – 27 с.
5. Гавриленко, В.Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание / В.Ф. Гавриленко, М.Е. Ладыгина, Л.М. Хандобина. – М.: Высшая школа, 1975. – 392 с.

References

1. Andreev, S.Y. New technology of wastewater pre-treatment /S.Yu. Andreev, P.A. Poluboyarinov, I.A. Garkina, G.P. Davydov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P.107–113.
2. Bogdanov, N.I. Suspension of Chlorella in the diet of farm animals / N.I. Bogdanov. – Penza, 2007. – 48 p.
3. Mineev, V.G. Workshop on Agricultural Chemistry / V.G. Mineev [etc.]. – M.: MGU, 2001. – 689 p.
4. GOST R 55569–2013. Feed, feed milling raw materials. Determination of proteinogenic amino acids by capillary electrophoresis. – M.: Publishing House of Standards, 2013. – 27 p.
5. Gavrylenko, V.F. Large workshop on plant physiology. Photosynthesis. Breathing / V.F. Gavrylenko, M.E. Ladygina, L.M. Handobina. – M.: High School, 1975. – 392 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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской академии наук и Академии
информатизации образования, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

Сухов Иван Филиппович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Механика»
E-mail: ifcyxob@yandex.ru
Новосибирский государственный
технический университет
Россия, 630073, Новосибирск,
просп. Карла Маркса, 20.
тел.: +7 (383) 346-11-21

Варенцов Валерий Константинович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Химия»
E-mail: vvk@ngs.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

Koshev Alexandr Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architecture and Building full member of
New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Professor of the department «Information and
computing systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

Sukhov Ivan Filippovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Mechanics»
E-mail: ifcyxob@yandex.ru
Novosibirsk State Technical University
Russia, 630073, Novosibirsk,
20, Prospekt K. Marksa
tel.: +7(383) 346-11-21

Varentsov Valery Konstantinovich,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Chemistry»
E-mail: vvk@ngs.ru

РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ В ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ*

А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, И.Ф. Сухов

Представлена математическая модель электрохимического процесса в проточном трехмерном электроде (ПТЭ) при электроосаждении металлов из поликомпонентного электролита с учетом возможного перераспределения характеристик процесса в локальном объеме электрода в течение электролиза. Приведены результаты экспериментальных исследований и расчетов процессов электроосаждения золота и серебра из серноокислых тиомочевинных элюатов на ПТЭ.

Ключевые слова: электроосаждение металла, проточный трехмерный электрод, поликомпонентный раствор, потенциал электрода, углеродный волокнистый материал, математическая модель

CALCULATION OF PROCESSES IN FLOWING THREE-DIMENSIONAL ELECTRODE

A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov

The mathematical model of the electrochemical process in the flowing three-dimensional electrode (FTDE) is presented at electrodeposition of metals from multicomponent electrolyte taking into account possible redistribution of characteristics of process in the local volume of an electrode during electrolysis. Experiments and calculations of processes of electrodeposition of gold and silver from sulfate is given thiourea eluate in FTDE are presented.

Keywords: metal electrodeposition, flowing three-dimensional electrode, multicomponent solution of electrolyte, electrode potential, carbon fibrous material, mathematical model

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части.

Электрохимические процессы при электроосаждении металлов на проточные трехмерные электроды (ПТЭ) из углеродистых волоконистых материалов (УВМ), как правило, сопровождаются побочными электрохимическими реакциями, например выделением водорода, реакцией с участием кислорода или совместным восстановлением металлов на электроде. Материальный баланс в потоке заряженных частиц, принимающих участие в электродном процессе, в отсутствие гомогенной электрохимической реакции описывается уравнением [1, 2]:

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = -\text{div}(z_i \mu_i F C_i \text{grad}(U) + C_i v). \quad (1)$$

Здесь и далее z_i , C_i (моль/см³), μ_i – соответственно заряд, концентрация и подвижность i -го электроактивного компонента в гомогенной или псевдогомогенной среде; F (Кл·моль⁻¹) – число Фарадея; $\text{grad}(U)$ – градиент потенциала электрического поля U (В); v – вектор скорости конвективного переноса электролита, div – дивергенция вектора.

Из уравнения (1) следует, что концентрационные изменения в потоке определяются величиной градиента потенциала U и вектором скорости потока электролита v , которые непосредственно не зависят от концентраций и плотностей тока парциальных электрохимических реакций. Эти функции являются определяющими по отношению к распределению электрохимического процесса в проточном трехмерном электроде. В соответствии с этим положением целью экспериментальных исследований являлось построение математических моделей электрохимических процессов в проточном трехмерном электроде при одновременном осаждении нескольких металлов из многокомпонентных электролитов с учетом электродных реакций восстановления кислорода и ионов водорода, изменения электропроводности электрода, скорости протока электролита и других параметров электрода и электролита по толщине электрода в процессе электролиза.

Повторяя преобразования уравнения (1), приведенные в работе [2], получим следующую систему дифференциальных уравнений:

$$F \sum z_i \frac{\partial C_i}{\partial t} = - \frac{\partial(\kappa \frac{dU}{dx})}{\partial x} - v F \sum z_i \frac{\partial C_i}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} F \sum z_i C_i; \quad (2)$$

$$|v| \frac{\partial C_i}{\partial n} = - \frac{S_v}{z_i F} J_{Si}. \quad (3)$$

Здесь J_{Si} (см²/см³) – плотность поляризующего тока по i -му компоненту; n – направление движения электролита; κ (См/см) – величина, характеризующая электропроводные свойства системы.

Систему уравнений (2)–(3) необходимо дополнить поляризационными кинетическими уравнениями [3], связывающими значения плотностей тока и потенциала в точке x :

$$J_{Si}(x) = j_{0i} \frac{\exp(\alpha_i z_i F ((U - \phi_{Ri}) / RT) - \exp((\alpha_i - 1) z_i F (U - \phi_{Ri}) / RT)}{1 + j_{0i} \exp(\alpha_i z_i F (U - \phi_{Ri}) / RT) / z_i F K_{mi} C_i}, \quad (4)$$

начальными и граничными условиями:

$$\frac{\partial U}{\partial x}(t, 0) = I(t) \cdot \rho_T; \quad \frac{\partial U}{\partial x}(t, L) = -I(t) \cdot \rho_{ж}; \quad C_i(t, 0) = C_{i,0}. \quad (5)$$

Здесь I (А/см²) – габаритная плотность тока, проходящего через электрод; L – толщина ПТЭ.

Система уравнений (2)–(5) замкнута относительно неизвестных функций $U(t, x)$, $C_i(t, x)$ и может быть решена методом, описанным в работе [4], с использованием алгоритмов расчета распределения изменяющихся в процессе электролиза электрохимических параметров процесса и электрода, таких, как электропроводность электрода, удельная реакционная поверхность, пористость УВМ, скорость протока раствора и др. [5–7]. Однако при

численной реализации модели возникают существенные трудности, связанные с определением равновесных потенциалов φ_{Ri} и коэффициентов массопереноса K_{mi} .

При проведении расчетов значения равновесных потенциалов φ_{Ri} выбирались из справочной литературы [8] и затем уточнялись методом, описанным в работе [9]. Такой подход не вызывает существенных затруднений при выполнении расчетов, так как процедура уточнения значений φ_{Ri} не приводит к величинам, чрезмерно отличающимся от величин, приведенных в литературных источниках. Существенные различия в результатах расчетов, а также их отличие от результатов экспериментов наблюдаются при использовании уравнений поляризационных характеристик (4) даже при незначительных (в пределах 10 %) изменениях величин K_{mi} . Точный расчет значений коэффициентов массопереноса затруднителен, так как в формулы для определения этих величин

$$K_{mi}(x, t) = \frac{a_i (\rho m_v)^{b_i}}{(\rho \epsilon_0 - M(x, t))^{b_i}} \quad (6)$$

входят a_i , b_i – константы, которые отражают свойства электрода, электролита и гидродинамические условия процесса и могут меняться в достаточно широких пределах: $10^{-3} \leq a \leq 1,9 \cdot 10^{-2}$; $0,33 \leq b \leq 0,71$ [10]. В формуле (6) ρ – плотность металлического осадка; $M(x, t)$ – количество осажденного металла в слое единичного сечения в точке x в момент времени t .

Естественно предположить, что при достаточных значениях скорости потока электролита, близких к реально используемым на практике ($0,1 \leq |v| \leq 1$), диффузионная составляющая переноса вещества к углеродистым нитям электрода из УВМ будет менее значительна, чем конвективная составляющая. Это позволяет применить подход к определению вида поляризационной зависимости с учетом гидродинамики процесса, согласно которому перенос i -го электроактивного вещества в элементарном объеме, отождествляемом с точкой x гомогенного пространства, описывается уравнением [11]:

$$\Delta c_i = Pe_i \cdot (v \operatorname{div}) c_i. \quad (7)$$

Здесь Δ – оператор Лапласа; Pe_i – число Пекле для i -го электроактивного компонента. Решив уравнения (7) с соответствующими дополнениями в виде граничных условий, в конечном счете получим уравнения, связывающие функции плотности тока и потенциала в каждой точке ПТЭ:

$$j_i(x) = \frac{Pe_i j_0 [e^{M_{i1}} - e^{M_{i2}}]}{Pe_i + j_{i0} e^{M_{i1}} / j_{i,np}(x)}; \quad M_{i1} = \frac{\alpha_i z_i F(E(x) - E_{ip}(x))}{RT};$$

$$M_{i2} = \frac{(1 - \alpha_i) z_i F(E(x) - E_{ip}(x))}{RT}.$$

Некоторые результаты расчетов и экспериментов, полученные при изучении процессов совместного электроосаждения золота и серебра, приведены на рис. 1, 2. Исследования проводились при фронтальной (со стороны противоиэлектрода) подаче электролита в ПТЭ для раствора следующего состава: H_2SO_4 – 0,5 моль/л, тиомочевина – 50 г/л. При этом использовалось различное количество золота и серебра: соответственно 28 и 76 мг/л (см. рис. 1), 22,4 и 141 мг/л (см. рис. 2). Электрод был составлен из 12 слоев, толщина электрода 1 см. Характеристики углеродного волокнистого материала (ватин): удельная поверхность – $255 \text{ см}^2/\text{см}^3$; удельная электропроводность – 0,03 См/см; пористость – 0,95; удельная электропроводность раствора – 0,1 См/см; время электролиза – 60 мин. Значения электрохимических параметров, использованные при проведении расчетов, приведены в таблице.

Компонента раствора	Равновесный потенциал, В	Ток обмена, А/см ²	Коэффициент переноса	Коэффициент диффузии, см/с
Золото	0,2	$1 \cdot 10^{-4}$	0,5	$7 \cdot 10^{-6}$
Серебро	0,1	$3,5 \cdot 10^{-4}$	0,5	$3,2 \cdot 10^{-6}$
Кислород	0,4	$2 \cdot 10^{-5}$	0,5	$3 \cdot 10^{-6}$
Водород	0	$1 \cdot 10^{-5}$	0,5	–

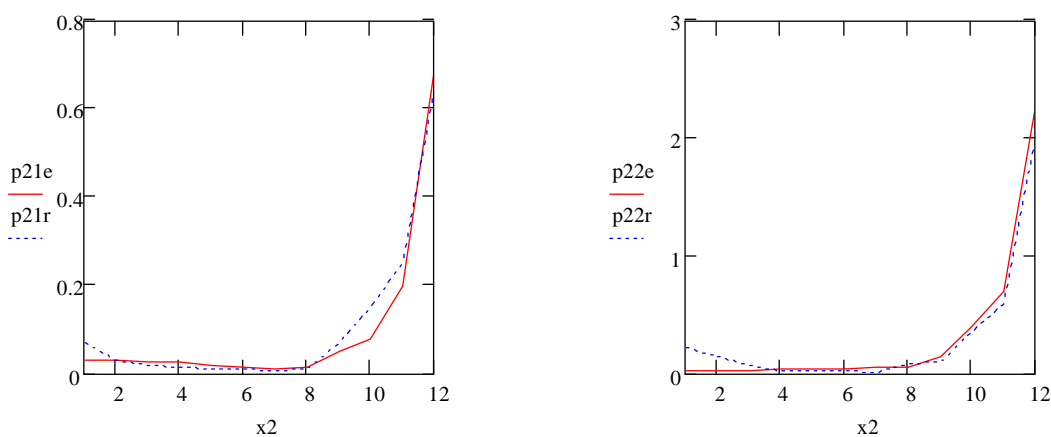


Рис.1. Распределение масс золота – p_{21e} , p_{21r} и серебра – p_{22e} , p_{22r} , отнесенных к массе УВМ по толщине электрода (2 см); p_{21e} , p_{22e} – эксперимент, p_{21r} , p_{22r} – расчет, скорость протока раствора 0,56 мл/с, габаритный ток – 0,7 А

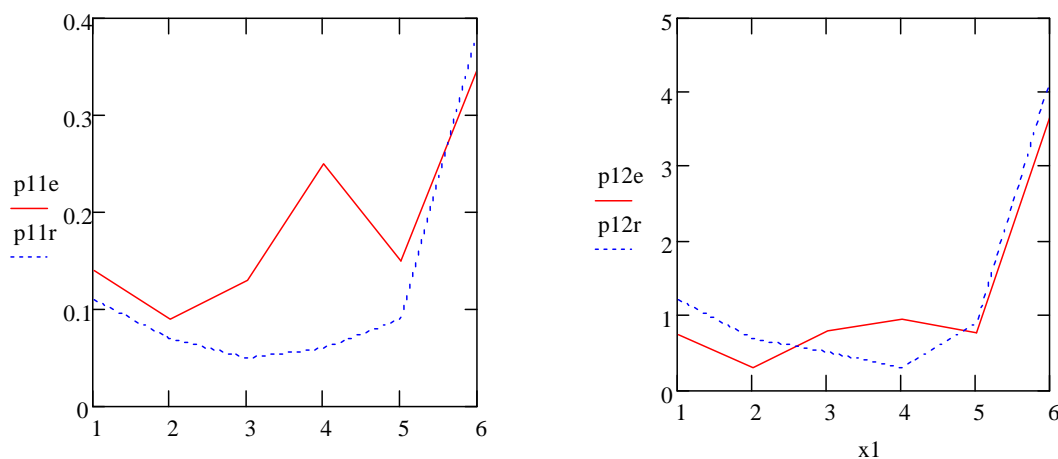


Рис. 2. Распределения масс золота – p_{11e} , p_{11r} и серебра – p_{12e} , p_{12r} , отнесенных к массе УВМ по толщине электрода (1 см); p_{11e} , p_{12e} – эксперимент, p_{11r} , p_{12r} – расчет, скорость протока раствора 0,56 мл/с, габаритный ток – 0.2 А

Анализ результатов показывает соответствие расчетных и экспериментальных кривых (см. рис.2), а также непротиворечивость рассчитанных распределений электрохимических функций классической электрохимической теории, что дает возможность использовать рассмотренные выше математические модели и алгоритмы расчетов для проведения численных исследований процессов в ПТЭ для многокомпонентных систем с учетом перераспределения характеристик процесса в локальном объеме электрода в течение электролиза.

1. Ньюмен, Дж. Электрохимические системы / Дж. Ньюмен. – М.: Мир, 1977. – 463 с.
2. Кошев, А.Н. Нестационарные математические модели электрохимических процессов в реакторах с проточными объемно-пористыми электродами / А.Н. Кошев, М.А. Чиркина, В.К. Варенцов // Электрохимия. – 2007. – Т. 43, № 11. – С. 1372–1378.
3. Бек Р.Ю., Замятин А.П., Кошев А.Н., Поддубный Н.П. // Известия СОАН СССР. Сер. хим. наук. – 1980. – № 2. – С. 110.
4. Кошев, А.Н. Процессы переноса в пористом электроде в случае распределенной скорости протока электролита / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, И.Ф. Сухов, И.Г. Гвоздева // Математическое моделирование. – 2013. – Т. 25, № 2. – С. 97–110.
5. Кошев, А.Н. Математическая модель процесса электролиза на проточном объемно-пористом электроде при переменной электропроводности системы / А.Н. Кошев, Г.Н. Глейзер, В.К. Варенцов // Электрохимия. – 1992. – Т. 28, № 8. – С. 1230–1234.
6. Кошев, А.Н. Влияние заполнения проточного объемно-пористого электрода осаждающимся металлом на электропроводность твердой фазы системы электрод-электролит / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, Г.Н. Глейзер // Электрохимия. – 1992. – Т. 28, № 8. – С. 1128–1134.
7. Кошев, А.Н. К вопросу определения доступной электролизу поверхности пористого электрода / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, Г.Н. Глейзер // Электрохимия. – 1992. – Т. 28, № 9. – С. 1404–1407.
8. Справочник по электрохимии / под ред. А.М. Сухотина. – Л.: Химия. – 1981.
9. Кошев, А.Н. Моделирование и расчет концентрации электроактивного компонента в процессе электролиза / А.Н. Кошев, В.В. Кузина // Управление большими системами. – 2011. – № 33. – С. 233–253.
10. Варенцов, В.К. Современные проблемы технической электрохимии. Трехмерные проточные электроды / В.К. Варенцов. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского техн. ун-та, 2005. – 120 с.
11. Дильман, В.В. Методы модельных уравнений и аналогий в химической технологии / В.В. Дильман, А.Д. Полянин. – М.: Химия, 1988. – 72 с.

References

1. Newman, J. Electrochemical systems / J. Newman. – M.: World, 1977. – 463 p.
2. Koshev, A.N. Non-stationary mathematical models of electrochemical processes in reactors with flowing volume and porous electrodes / A.N. Koshev, M.A. Chirkina, V.K. Varentsov // Electrochemistry. – 2007. – Vol. 43, №. 11. – P. 1372–1378.
3. Beck R.Yu., Zamyatin A.P., Koshev A.N., Poddubny N.P. // SOAN USSR News. Series of chemical sciences. – № 2. – 1980. – P. 110.
4. Koshev, A.N. Processes of transfer in a porous electrode in case of the distributed speed of a channel of electrolyte / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov, I.G. Gvozdeva // Mathematical modeling. – 2013. – T. 25, № 2. – P. 97–110.
5. Koshev, A.N. Mathematical model of process of electrolysis on a flowing volume and porous electrode at variable conductivity of system / A.N. Koshev, G. N. Glazer, V.K. Varentsov // Electrochemistry. – 1992. – T. 28, № 8. – P. 1230–1234.
6. Koshev, A.N. Influence of filling of a flowing volume and porous electrode with the besieged metal on conductivity of a firm phase of system of electrode electrolyte / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, G.N. Glazer // Electrochemistry. – 1992. – Vol. 28, No. 8. – P. 1128–1134.
7. Koshev, A.N. To a question of definition of the surface of a porous electrode / A.N. Koshev, V.K. Varentsov, G.N. Glazer // Electrochemistry. – 1992. – Vol. 28, № 9. – P. 1404–1407.
8. The reference book on electrochemistry / under the editorship of A.M. Sukhotin. – L.: Chemistry, 1981.
9. Koshev, A.N. Modeling and calculation of concentration of an electroactive component in the course of electrolysis / A.N. Koshev, V.V. Kuzina // Management of big systems. – 2011. №. 33. – P. 233–253.
10. Varentsov, V.K. Modern problems of technical electrochemistry. Three-dimensional flowing electrodes / V.K. Varentsov. – Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk technical university, 2005. – 120 p.
11. Dilman, V.V. Methods of model equations and analogies in chemical technology / V.V. Dilman, A.D. Polyandin. – M.: Chemistry, 1988. – 72 p.

Московский государственный
строительный университет

Россия, 129337, г. Москва,
Ярославское шоссе, д. 26
тел.: 89104073857

Рымаров Андрей Георгиевич,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Отопление и вентиляция»
E-mail: rymarov@list.ru

Ботнар Максим Игоревич,
ассистент кафедры «Теплотехника
и теплогазоснабжение»
E-mail: botnarmi@gmail.com

Moscow State University of Civil Engineering

Russia, 129337, Moscow, 26,
Yaroslavl highway,
tel.: 89104073857

Rymarov Andrew Georgievich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Heating and ventilation»
E-mail : rymarov@list.ru

Botnar Maxim Igorevich,
Assistant of the department «Thermal
Engineering»
E-mail: botnarmi@gmail.com

ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ НАРУЖНОГО ВОЗДУХА В ПЕРИОД АКТИВНОГО ПОХОЛОДАНИЯ В ХОЛОДНЫЙ ПЕРИОД ГОДА С ПОЗИЦИИ ТЕПЛОПОТРЕБЛЕНИЯ ЗДАНИЕМ

А.Г. Рымаров, М.И. Ботнар

Период активного похолодания приводит к напряженной работе систем теплоснабжения зданий. Динамика температуры наружного воздуха в период резкого похолодания важна для анализа фактического теплопотребления зданием в период максимальной нагрузки на системы, обеспечивающие требуемые параметры микроклимата в помещениях здания.

Ключевые слова: температура наружного воздуха, период резкого похолодания, холодный период года, теплопотери зданием

THE TEMPERATURE OF EXTERNAL AIR IN THE PERIOD OF ACTIVE COOLING DURING THE COLD PERIOD OF THE YEAR FROM THE POSITION OF THE HEAT CONSUMPTION OF THE BUILDING

A.G. Rymarov, M.I. Botnar

The period of active cooling leads to the hard work of heating buildings. Dynamics of external air temperature during sudden cold snap is important for the analysis of the actual heat consumption of building during peak periods on systems that provide the required parameters of microclimate in the premises of the building.

Keywords: external air temperature, cooling period, cold period of year, building heat loss

Введение. В холодный период года имеют место периоды активного похолодания. За последние 20 лет климат изменился в связи с всемирным потеплением, однако периоды активного похолодания сохранились. В период активного похолодания имеют место периоды резкого похолодания. По данным проф. Богословского В.Н., проводившего исследования периода резкого похолодания в середине XX века, известно следующее поведение температуры наружного воздуха в данный период: температура медленно понижается в течение 10–15 дней, затем резко снижается до минимума, после чего резко повышается и начинает расти.

Теоретический анализ. Наиболее холодным месяцем холодного периода года считается январь. Согласно старым и новым нормативным документам средняя температура января для города Москвы составляет: по СНиП 2.01.01–82 «Строительная климатология и геофизика» –10,2 °С, по СНиП 23-01–99 «Строительная клима-

тология» от 2000 года $-10,2$ °С, по СНиП 23-01-99* (СП 131. 13330.2012) «Строительная климатология» $-7,8$ °С. Из приведенных нормативных данных можно сделать вывод, что средняя температура января за период с 1982 года по 2000 год не изменилась, а за период с 2000 по 2012 год повысилась на величину, равную $2,4$ °С (с $-10,2$ °С до $-7,8$ °С), или на $23,5$ %. Такое потепление, с одной стороны, неблагоприятно для природы, так как все живые организмы, включая человека, за длительное время привыкли к суровым и продолжительным зимам, но с другой стороны, повышение температуры в зимний период снижает нагрузку на системы отопления зданий и позволяет экономить тепловую энергию.

Анализ температурного режима января 2014 года для города Москвы в период с 9 января по 7 февраля проведен с целью изучения энергопотребления зданиями в холодный период года в период активного похолодания. Продолжительность и динамика температуры данного периода активного похолодания показаны на рис. 1 (сплошная и штрихпунктирная линии). Данные получены из открытых метеорологических источников для города Москвы. Анализ полученных данных показывает их сопоставимость, но при этом имеются отличия. Сплошная линия имеет массу зубцов, которые характеризуют резкое изменение температуры наружного воздуха в суточном режиме, и здесь можно выделить три зубца (1, 2, 3 на рис.1) резкого похолодания, а штрихпунктирная линия показывает более плавное изменение температуры наружного воздуха с небольшими отклонениями, где четкие периоды резкого похолодания выделить сложно.

Зубец 1 имеет продолжительность 5 суток или 120 часов, похолодание в данный период началось с температуры наружного воздуха, равной -10 °С, минимальная температура составила -18 °С и закончилось резкое похолодание на температуре -13 °С, амплитуда изменения температуры составила $5-8$ °С. Зубец 2 имеет продолжительность 7 суток или 168 часов, и здесь видны следующие параметры: начальная температура -12 °С, минимальная температура -22 °С, конечная температура периода похолодания составила -7 °С, амплитуда изменения температуры составила $10-15$ °С. Зубец 3 имеет продолжительность 3 суток или 72 часа, его параметры следующие: начальная температура -13 °С, минимальная температура равна -18 °С, температура окончания периода резкого похолодания составила -14 °С, амплитуда изменения температуры составила $4-5$ °С. К сожалению, по штрихпунктирной линии такой анализ периодов резкого похолодания провести трудно, так эти периоды выражены не явно.

Согласно данным, представленным на рис. 1, средняя температура данного периода по сплошной линии составляет $-10,5$ °С, а по штрихпунктирной $-11,9$ °С. Полученные данные близки к показателям средней температуры января ($-10,2$ °С), но данные января 2014 года немного холоднее, а согласно СНиПу 2012 года отличие составляет $25,7$ % и $34,5$ % для двух массивов данных соответственно (сплошная и штрихпунктирная линии). Разница абсолютных значений температуры наружного воздуха для сплошной и штрихпунктирной линий показана на рис. 2, а среднее значение отличия двух массивов метеоданных равно $-1,2$ °С.

Исследования потерь тепла наружной стены здания в данный период активного похолодания показали, что для наружных стен с сопротивлением теплопередаче, составляющим по СНиПу «Строительная теплотехника» (применялся до 1995 года) $0,9$ ($\text{м}^2 \times \text{°С}$)/Вт, динамика теплопотерь согласно имеющимся массивам метеоданных имеет характер, сопоставимый с динамикой температурного режима в данный период. Суммарные теплопотери за 26 дней периода активного похолодания составили $751,5$ Вт/м² и $763,7$ Вт/м² для двух массивов данных соответственно, при этом отличие составляет $1,5$ %. На рис. 3 показана динамика изменения теплопотерь наружной стеной в рассматриваемый период активного похолодания. Для окон с сопротивлением теплопередаче $0,4$ ($\text{м}^2 \times \text{°С}$)/Вт (нормы применялись до 1995 года) теплопотери в данный период составили 1425 Вт/м² и 2030 Вт/м² для рассмотренных массивов метеоданных соответственно; отличие составляет около 30 %.



Рис. 1. Период активного похолодания зимой 2014 года в г. Москве



Рис. 2. Разница абсолютных температур за период активного похолодания в городе Москве по двум массивам метеоданных

Рис. 3. Изменение потерь тепла в период активного похолодания, Вт/м²

Выводы

Два массива данных получены разными способами и в разных условиях, что привело к расхождению в анализируемой информации. Для точного анализа теплопотребления зданиями данные массивы данных не подходят. Требуется мониторинг изменения температуры практически у каждого здания, что позволит произвести качественный анализ изменения во времени теплопотребления каждым конкретным зданием [1], а также получить корректную информацию для регулирования работы инженерных систем, отвечающих за микроклимат в помещениях [2]; это позволит получить инструмент для активного влияния на динамику воздушного, теплового, влажностного и газового режимов здания.

Кроме того, возникает вопрос: за какой период нужно осреднять температуру наружного воздуха, чтобы провести прогнозирование параметров микроклимата в зданиях и сооружениях [3]. На рис. 1 приведены данные с осреднением температуры наружного воздуха за сутки. В течение суток может иметь место различная интенсивность изменения температуры наружного воздуха, а слои (элементарные объемы), на которые условно разделено наружное ограждение, учувствуют в процессе теплообмена каждую секунду (постоянно), передавая это влияние от слоя к слою [4], накапливая возмущающее воздействие в слоях внутри ограждения для последующего оказания влияния на микроклимат помещения [5]. Поэтому осреднение температуры наружного воздуха с интервалом в одни сутки является грубым и не подходит для получения прогноза изменения теплообменных режимов в помещениях здания [6]. Осреднение температуры наружного воздуха за интервал одна секунда и менее – это идеальный вариант для прогнозирования параметров микроклимата в помещениях [7], но реализовать его на сегодняшний день затруднительно из-за отсутствия соответствующих технических возможностей, так как измерения носят длительный характер, а также придется работать со слишком большими массивами данных, полученных при измерениях и расчетах. В современных условиях развития имеется возможность проводить мониторинг изменения температуры наружного воздуха с периодичностью от 5 минут до 6 часов, что позволит с учетом требуемой точности получить искомые данные по температурному режиму наружного воздуха для более точного влияния на теплопотребление здания.

Список литературы

1. Рымаров, А.Г. Особенности моделей теплообмена во взаимосвязанных зданиях / А.Г. Рымаров // Естественные и технические науки. – 2013. – № 1. – С.380–382.
2. Рымаров, А.Г. Разработка научных основ управления параметрами внутреннего микроклимата на Большой спортивной арене стадиона «Лужники» / А.Г. Рымаров, О.Д. Самарин, А.А. Плотников // Энергосбережение и водоподготовка. – 2000. №2. – С.32–36.
3. Рымаров, А.Г. Особенности расчета теплового режима здания с массивными ограждающими конструкциями в холодный период года / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин // Строительство: наука и образование. – 2012. – № 2. – С. 5.
4. Рымаров, А.Г. Изменение коэффициента теплоотдачи на наружной поверхности ограждающих конструкций высотного здания в холодный период / А.Г. Рымаров, В.В. Смирнов // Монтажные и специальные работы в строительстве. – 2006. – №1. – С. 26–28.
5. Рымаров, А.Г. Прогнозирование параметров воздушного, теплового, газового и влажностного режимов помещений здания / А.Г. Рымаров // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №5. – С. 362–364.
6. Рымаров, А.Г. Тепловой режим теплоизолированного трубопровода системы холодного водоснабжения / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин // Строительство: наука и образование. – 2012. – № 1. – С. 7.

7. Рымаров, А.Г. Особенности расчета теплового режима линейных подземных сооружений на примере автотранспортного тоннеля / А.Г. Рымаров, К.И. Лушин // Строительство: наука и образование. – 2011. – № 2. – С. 5.

References

1. Rymarov, A.G. Characteristics of heat-mass exchange modes of mutual influence buildings / A.G. Rymarov // Natural and technical sciences. – 2013. – № 1. – P. 380–382.
2. Rymarov, A.G. Development of scientific bases of the internal microclimate control big sports arena of the Luzhniki stadium / A.G. Rymarov, O.D. Samarin, A.A. Plotnikov // Saving energy and water preparation. – 2000. – №2. – P. 32–36.
3. Rymarov, A.G. Calculation of thermal regime of buildings with massive protecting designs in the cold period of the year / A.G. Rymarov, K.I. Lushin // Construction: Science and education. – 2012. – № 2. – P. 5.
4. Rymarov, A.G. Changing the coefficient of heat transfer on the outer surface of the walls of a high-rise building during the cold period / A.G. Rymarov, V.V. Smirnov // Installation and special work in construction. – 2006. – №1. – P. 26–28.
5. Rymarov, A.G. Prediction of air, heat, gas and humidity regimes building / A.G. Rymarov // Academia. Architecture and construction. – 2009. – №5. – P. 362–364.
6. Rymarov, A.G. Thermal heat insulated pipeline systems for cold water / A.G. Rymarov, K.I. Lushin // Construction: Science and education. – 2012. – № 1. – P. 7.
7. Rymarov, A.G. Thermal calculation of linear underground structures for example road tunnel / A.G. Rymarov, K.I. Lushin // Construction: Science and education. – 2011. – № 2. – P. 5.

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

Орлов Никита Андреевич,
аспирант кафедры «Организация
и безопасность движения»
E-mail: obd@pguas.ru

Власов Алексей Александрович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Организация
и безопасность движения»
E-mail: vlasov_a71@mail.ru

Чушкина Жанна Александровна,
студентка
E-mail: zhanna2108.95@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

Orlov Nikita Andreyevich,
Postgraduate of the department «Organization
of Safety Road Traffic»
E-mail: obd@pguas.ru

Vlasov Aleksey Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Organization of Safety
Road Traffic»
E-mail: vlasov_a71@mail.ru

Chushkina Zhanna Aleksandrovna,
Student
E-mail: zhanna2108.95@mail.ru

ДИНАМИКА ОЧЕРЕДИ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ПЕРЕД РЕГУЛИРУЕМЫМ ПЕРЕКРЕСТКОМ

Н.А. Орлов, А.А. Власов, Ж.А. Чушкина

Рассмотрен механизм образования очереди транспортных средств перед регулируемым перекрестком. Описание динамики очереди дополнено переменными положения фронта очереди и фронта разъезда очереди, приведены аналитические зависимости для вычисления их значений.

Ключевые слова: регулируемый перекресток, очередь транспортных средств, фронт очереди, фронт разъезда очереди

DYNAMICS OF TRAFFIC BEFORE ADJUSTABLE INTERSECTION

N.A. Orlov, A.A. Vlasov, Zh.A. Chushkina

The mechanism of formation of traffic before adjustable intersection is considered. For the description of traffic terms front of turn and front of travel are offered. Analytical dependences for calculation of their values are given.

Keywords: adjustable intersection, turn traffic, front of turn, front of travel

Традиционные модели задержки и очереди транспортных средств [1–3] предполагают, что все прибывающие к пересечению транспортные средства размещаются на стоп-линии. В свободных условиях движения данное допущение является приемлемым. В условиях насыщенного движения становится важным не только количество автомобилей в очереди, но и ее пространственно-временное распределение по транспортной связи. Необходимость учета пространственно-временного распределения очереди по транспортной связи проиллюстрируем на примере, приведенном на рис. 1.

Положение фронта очереди f_{in} определяет точку остановки прибывающих транспортных средств. При отсутствии остаточной очереди в момент включения запрещающего сигнала формируется очередь (рис.1а), фронт которой в дискретном виде определяется выражением

$$f_{in}(k+1) = f_{in}(k) + q(k) \cdot L_v \cdot \Delta, \quad (1)$$

где $f_{in}(k)$ – положение фронта очереди в текущий момент, м; $f_{in}(k+1)$ – положение фронта очереди в последующий момент, м; Δ – шаг моделирования, с; L_v – средний динамический габарит автомобиля в очереди, м; $q(k)$ – интенсивность движения, тс/с.

Положение фронта очереди в указанный момент также может быть вычислено через количество транспортных средств в очереди $Q(k+1)$:

$$f_{in}(k+1) = Q(k+1) \cdot L_v. \quad (2)$$

При включении разрешающего сигнала формируется фронт отъезда f_{out} (рис.1б). При этом очередь распадается на две части. Первую часть составляют неподвижные транспортные средства, вторую – движущиеся от фронта разезда к стоп-линии. Следовательно, положение фронта отъезда:

$$f_{out}(k+1) = f_{out}(k) + V_{out} \cdot \Delta, \quad (3)$$

где V_{out} – скорость распространения фронта отъезда.

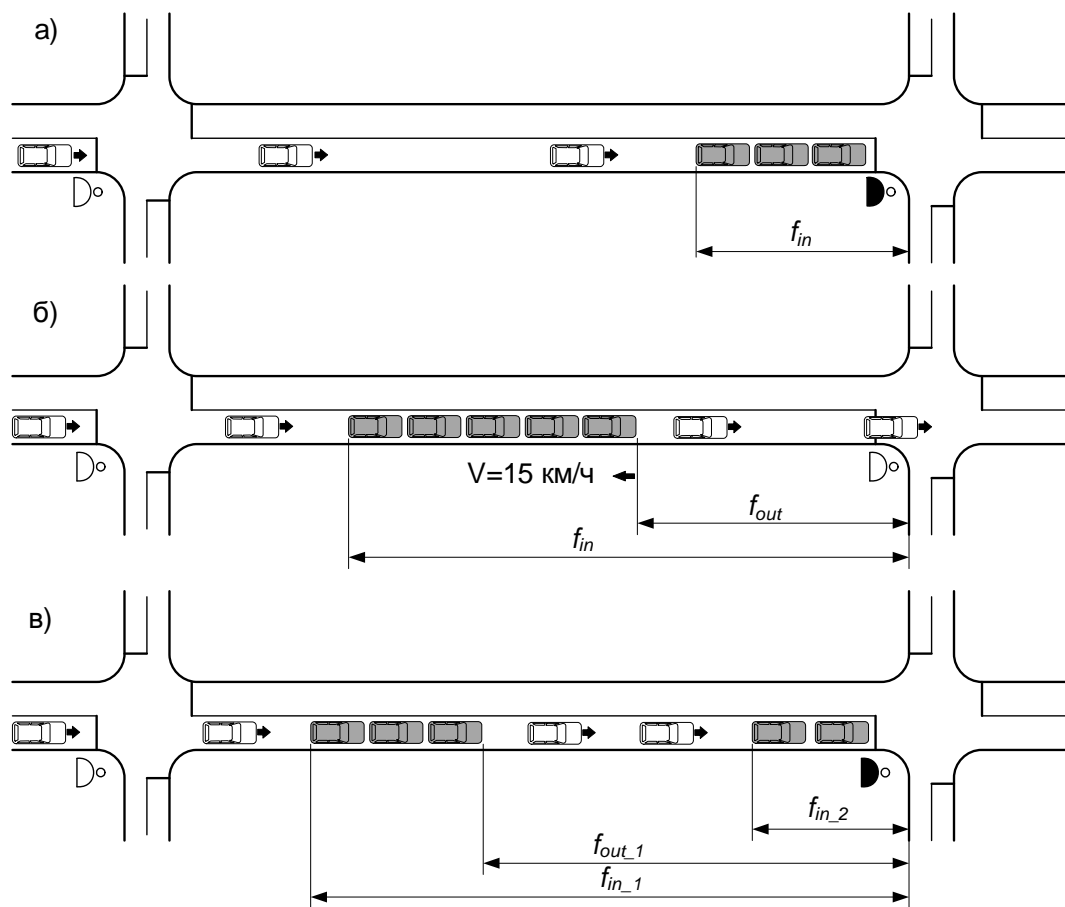


Рис.1. Динамика образования очереди при насыщенном движении

Динамика f_{out} определяется особенностями движения транспортных средств по полосе без возможности совершения обгона – движение $n+1$ автомобиля возможно после того, как начнет движение n автомобиль. Соответственно, скорость распространения фронта отъезда может быть определена как

$$V_{out} = \frac{L_v}{\tau_{out}}, \quad (4)$$

где τ_{out} – время реакции водителя на отъезд впереди идущего автомобиля, с.

При среднем динамическом габарите автомобиля 5,3 м и времени реакции водителя 1,2 с скорость распространения фронта отъезда составит 4,42 м/с (15,9 км/ч). Данные натурных исследований, приведенные в [4], показали, что скорость распространения фронта отъезда постоянна и в среднем составляет $V_{out}=15$ км/ч. С учетом стабильности V_{out} имеем:

$$f_{out}(k+1) = f_{out}(k) + 4,167 \cdot \Delta. \quad (5)$$

При включении разрешающего сигнала светофора (точка b на рис.2) количество автомобилей в очереди начинает сокращаться, в то время как положение фронта очереди продолжает увеличиваться. Соответственно, выражение (3), содержащее значение количества автомобилей в очереди, уже не может быть использовано для вычисления фронта очереди. Исчезновение фронта очереди и, соответственно, начало движения всех транспортных средств (точка a на рис. 2) происходит при выполнении условия

$$f_{in}(k) = f_{out}(k). \quad (6)$$

С учетом (5) положение фронта очереди определяется в виде:

$$f_{in}(k+1) = \begin{cases} 0 & \text{при } f_{out}(k) = f_{in}(k) \\ f_{in}(k) + q(k) \cdot L_{vech} \cdot \Delta & \end{cases}. \quad (7)$$

Очередь транспортных средств после исчезновения фронта очереди продолжает существовать (на участке от точки a до m при $Q(k) > 0$).

Выключение разрешающего сигнала светофора инициирует процесс образования фронта очереди. При достаточно большой длине перегона и интенсивности движения возможно одновременное наличие двух и более фронтов очереди и разъезда на перегоне (рис.1в). Таким образом, каждый светофорный цикл инициирует на транспортной связи формирование собственного фронта образования и разъезда очереди.

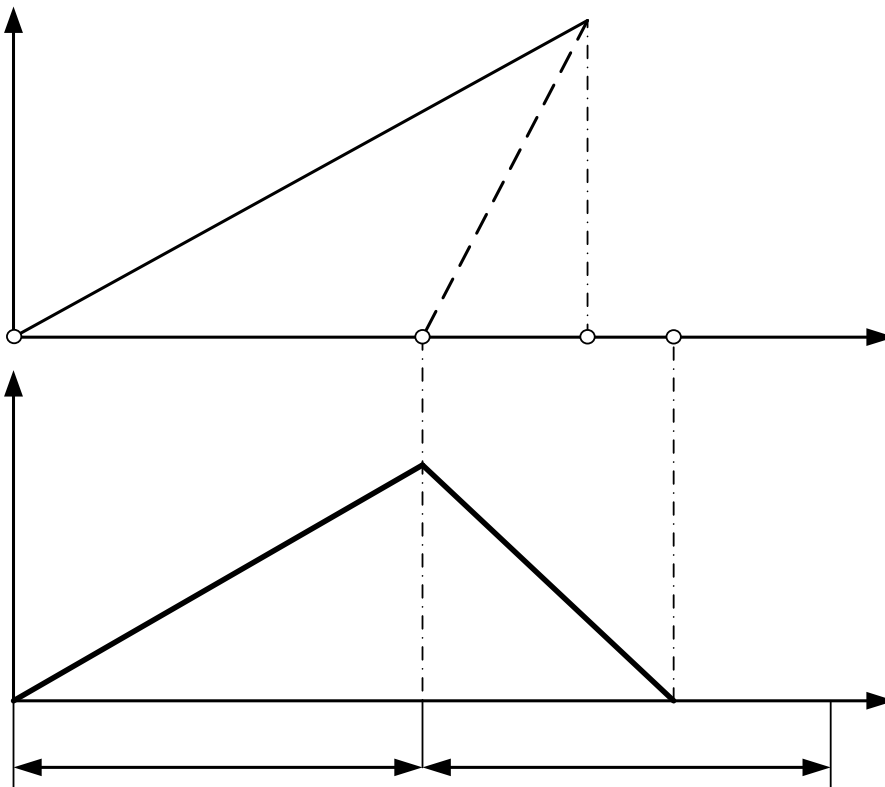


Рис. 2. Диаграмма соотношения очереди транспортных средств и положения фронта очереди

Условие блокирования входящих в перегон транспортных связей [5] с учетом приведенных выше зависимостей (в том числе и при разрешающем сигнале светофора):

$$f_{in}(k) > L_{edg}, \quad (8)$$

где L_{edg} – длина перегона, м.

Определим момент исчезновения фронта очереди. Для этого выделим в цикле регулирования два характерных момента времени. В первый момент времени включен запрещающий сигнал светофора и формируется фронт очереди:

$$f_{in}^I = Q_o \cdot L_v + \sum_{i=0}^r q_i \cdot L_v, \quad (9)$$

где Q_o – остаточная очередь на связи, авт; q_i – количество прибывших автомобилей в интервале i , авт; r – длительность запрещающего сигнала.

Во второй период включается разрешающий сигнал и положение фронта очереди с учетом (8) будет определено следующим образом:

$$f_{in}^{II} = Q_o \cdot L_v + \sum_{i=0}^b q_i \cdot L_v + \sum_{j=b}^a q_j \cdot L_v, \quad (10)$$

где a – длительность разрешающего сигнала, во время которого существует фронт очереди.

Момент исчезновения фронта очереди определяется положением точки a . Точка a может быть найдена из выражения

$$f_{out} = V_{out} \cdot (a - b). \quad (11)$$

С учетом (10) получим:

$$V_{out} \cdot (a - b) = Q_o \cdot L_v + \sum_{i=0}^b q_i \cdot L_v + \sum_{j=b}^a q_j \cdot L_v. \quad (12)$$

Решение уравнения (12) относительно a при задании интенсивности движения в виде циклических профилей возможно численными методами. Приняв допущение о равномерном характере распределения интенсивности движения в цикле регулирования, преобразуем уравнение (12) к следующему виду:

$$V_{out} \cdot (a - b) = Q_o \cdot L_v + \bar{q} \cdot b \cdot L_v + \bar{q} \cdot (a - b) \cdot L_v, \quad (13)$$

где \bar{q} – средняя интенсивность движения в цикле регулирования, авт/с.

Решив уравнения (13) относительно a , получим:

$$a = \frac{(Q_o + \bar{q} \cdot b) \cdot L_v}{V_{out} - \bar{q} \cdot L_v} + b. \quad (14)$$

Максимальное удаление фронта очереди от стоп-линии F^{in} в светофорном цикле:

$$F^{in} = a \cdot \bar{q} \cdot L_v, \quad (15)$$

или, с учетом формулы (14),

$$F^{in} = \left[\frac{(Q_o + \bar{q} \cdot b) \cdot L_v}{V_{out} - \bar{q} \cdot L_v} + b \right] \cdot \bar{q} \cdot L_v. \quad (16)$$

Использование переменных фронта очереди и фронта разъезда очереди расширяет возможности описания динамики очереди транспортных средств перед регулируемым пересечением, позволяет уточнить момент блокирования транспортных связей.

Список литературы

1. Власов, А.А. Эволюционный метод расчета режимов работы светофорной сигнализации / А.А. Власов, В.Ю. Акимова, М.В. Широков // Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. – 2009. – № 47. – С. 97–99.
2. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. – Washington, D.C., 2010.
3. Данилов, А.М. Математическое моделирование управляющих воздействий оператора в эргатической системе / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, Э.Р. Домке // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2010. – № 2. – С. 18.
4. The Physics of Traffic / B.S. Kerner. – Berlin, New York: Springer, 2004. – 269 p.
5. Будылина, Е.А. Фундаментальные основы оценки качества сложных систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Новый университет. Серия: Технические науки. – 2013. – № 4 (14). – С. 6–9.

References

1. Vlasov, A.A. Evolutionary calculation method of operating modes of traffic light signal / A.A. Vlasov, V.Ju. Akimova, M.V. Shirokov // Bulletin of Kharkiv national automobile and highway University. – 2009. – № 47. – P. 97–99.
2. Highway Capacity Manual. Transportation Research Board. – Washington, D.C., 2010.
3. Danilov, A.M. Mathematical modeling of control actions of the operator in ergodic system / A.M. Danilov, I.A. Gar'kina, Je.R. Domke // Bulletin of the Moscow state automobile and road technical University (MADI). – 2010. – № 2. – P. 18.
4. The Physics of Traffic / B.S. Kerner. – Berlin, New York: Springer, 2004. – 269 p.
5. Budylyna, E.A. The fundamental basis for quality assessment of complex systems / E.A. Budylyna, I.A. Gar'kina, A.M. Danilov // New University. Series: Technical science. – 2013. – № 4 (14). – P. 6–9.

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

Аверкин Александр Григорьевич,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: algraw@mail.ru

Ерёмкин Александр Иванович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Теплогазоснабжение и
вентиляция»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Родионов Юрий Владимирович,
доктор технических наук, профессор,
директор автомобильно-дорожного
института
E-mail: rodionov@pguas.ru

Аверкин Юрий Александрович,
студент
E-mail: algraw@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

Averkin Aleksandr Grigorievich,
Doctor of Technical Sciences, Professor
of the department «Heat and Ventilation»
E-mail: algraw@mail.ru

Eremkin Alexandr Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Heat and
ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Rodionov Yurii Vladimirovich,
Doctor of Technical Sciences, Professor,
Director of Automobile Engineering Institute
E-mail: rodionov@pguas.ru

Averkin Yurii Aleksandrovich,
student
E-mail: algraw@mail.ru

УТИЛИЗАЦИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОТЫ В СИСТЕМАХ ВЕНТИЛЯЦИИ И КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА ОСНОВЕ ТВЕРДОГО СОРБЕНТА

А.Г. Аверкин, А.И. Ерёмкин, Ю.В. Родионов, Ю.А. Аверкин

Представлен способ и оборудование для утилизации теплоты удаляемого воздуха из помещений с применением силикагеля. Уточнены аналитические зависимости для расчета конвективного теплообмена в аппаратах с неподвижным слоем, с кипящим слоем и двухфазным воздушным потоком при использовании зернистых сорбентов.

Ключевые слова: теплоутилизатор, теплообменник-адсорбер, силикагель, водяные пары, кипящий слой, двухфазный поток, промежуточный теплоноситель

DISPOSAL OF LOW-GRADE HEAT IN HVAC SYSTEMS ON THE BASIS OF SOLID SORBENT

A.G. Averkin, A.I. Eremkin, Y.V. Rodionov, Y.A. Averkin

A method and equipment for heat recovery from exhaust air space using silica gel are provided. Refined analytical dependences for calculation of convective heat transfer in the apparatus with fixed bed, fluidized bed, and two-phase air flow when using granular sorbents are specified.

Keywords: heat exchanger, heat exchanger adsorbing, silica gel, water vapor, fluidized bed, two-phase flow, intermediate coolant

Утилизация теплоты удаляемого воздуха из помещений – одно из основных энергосберегающих мероприятий в системах вентиляции и кондиционирования воздуха. Для этого применяют теплообменники (теплоутилизаторы), которые устанавливают в воздуховодах [1].

По принципу действия и конструктивным особенностям теплоутилизаторы подразделяют на рекуперативные, регенеративные и с промежуточным теплоносителем. Наиболее универсальной считают систему утилизации теплоты с промежуточным теплоносителем. Отбор и отдача теплоты происходит за счет рециркуляции жидкости – промежуточного теплоносителя (антифриза) между теплообменниками, которые монтируют в приточном и вытяжном воздуховодах. Теплообменники могут находиться на значительном расстоянии друг от друга. Рециркуляция антифриза осуществляется принудительно с помощью насоса. Эта система рекомендована для широкого применения в зданиях различного назначения как гражданских, так промышленных.

Способы утилизации теплоты, заложенные в конструкции типовых аппаратов, основаны на процессах теплопередачи. Они не позволяют утилизировать полностью главную составляющую теплоты удаляемого воздуха из помещений – скрытую теплоту водяных паров. Известно [1, 2], энтальпия удаляемого воздуха определяется суммой слагаемых, представляющих явную теплоту газов (воздух + газовые примеси) и скрытую теплоту паров (в основном, это водяные пары):

$$I = c_B t + (r + c_{II} t) \cdot d \cdot 10^{-3}, \quad (1)$$

где I – энтальпия влажного воздуха, кДж/кг; c_B – удельная теплоемкость воздуха, кДж/(кг·°C); t – температура воздуха, °C; r – скрытая теплота парообразования водяных паров, кДж/кг; c_{II} – удельная теплоемкость водяного пара, кДж/(кг·°C); d – влагосодержание воздуха, г/кг сух. возд.

Полная конденсация водяных паров, содержащихся в воздухе (абсолютное осушение), возможна только при охлаждении воздуха до абсолютного нуля (на I - d -диаграмме влажного воздуха кривая полного насыщения $\phi = 100\%$ пересекает ось энтальпии I при $t = -273$ °C [2]), что практически недостижимо в данных условиях.

В [2, 3] показано, что указанный недостаток можно устранить и теплоутилизатор будет более эффективным, если его работа основана на сорбционных процессах в системе влажный воздух – твердый сорбент. Удаляемый воздух из помещений предлагается пропускать через слой гранулированного сорбента – вещества с развитой микроструктурой, который способен интенсивно впитывать водяные пары с выделением большого количества теплоты – теплоты адсорбции (теплоты фазового перехода). Полная удельная теплота адсорбции водяных паров при капиллярной конденсации составляет 2930 кДж/кг.

Известно [2], что многие сорбенты могут производить осушение воздушного потока до нулевого влагосодержания и выпускать в атмосферу практически абсолютно сухой воздух, т.е. утилизировать всю скрытую теплоту водяных паров и дополнительно явную теплоту в количестве не менее той, что утилизируется в современных утилизаторах, рассмотренных выше. Анализ адсорбентов, выпускаемых отечественной промышленностью, показал, что наиболее эффективным для сорбции водяных паров из воздушного потока является силикагель. Его достоинства: высокая избирательная поглотительная способность к водяным парам и гидрофильность; низкая температура регенерации (110...200 °C) и, как следствие, более низкие энергозатраты, чем при регенерации других промышленных сорбентов; возможность синтеза силикагелей в широком интервале заданных структурных характеристик при использовании достаточно простых технологических приемов; низкая себестоимость при крупнотоннажном промышленном производстве; высокая механическая прочность по отношению к истиранию и раздавливанию; негорючесть.

Для повышения теплотехнической эффективности в системе утилизации с промежуточным теплоносителем предлагается конструкцию воздухоохладителя наделять функциями адсорбера и теплообменного аппарата (назовем его теплообменник-адсорбер). Для отвода полной теплоты адсорбции водяных паров, а также отбора явной теплоты осушенного удаляемого воздуха слой адсорбента (гранулированный силикагель) располагают в трубном пространстве кожухотрубного теплообменника, а в межтрубном пространстве циркулирует промежуточный теплоноситель. Промежуточный теплоноситель, отбирая теплоту от слоя адсорбента, нагревается и передает ее

в теплоотдающем теплообменнике наружному (приточному) воздуху. Принципиальная схема теплообменника-адсорбера с неподвижным слоем сорбента приведена на рис. 1.

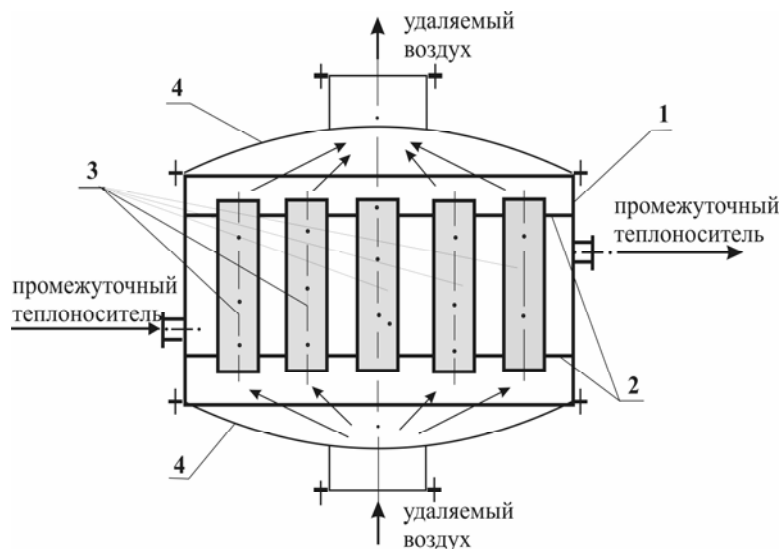


Рис. 1. Схема теплообменника-адсорбера:

1 – корпус; 2 – трубная решетка; 3 – трубчатый элемент с силикагелем; 4 – крышки

Для обеспечения непрерывности процесса необходимо установить два теплообменника-адсорбера в потоке удаляемого воздуха: один работает в режиме утилизации скрытой и явной теплоты воздуха, другой – в режиме активации (регенерации) сорбента. На стадии регенерации через слой силикагеля, подлежащего активации, пропускают удаляемый абсолютно осушенный и охлажденный воздух, полученный в соседнем теплоизвлекающем теплообменнике, перед выбросом его в атмосферу.

Из-за разницы парциальных давлений водяных паров в поровом пространстве адсорбента и, продуваемого через него, воздушном потоке молекулы воды будут интенсивно диффундировать в поток воздуха. При этом температура слоя адсорбента будет снижена и дополнительного охлаждения силикагеля (адсорбента) не потребуется перед включением теплообменника-адсорбера в стадию осушения удаляемого воздуха. Переключение режимов работы теплообменника с утилизации теплоты на регенерацию адсорбента и обратно осуществляется при помощи клапанов, установленных на воздушной и жидкостной линиях и управляемых системами автоматики.

Также в качестве теплообменника-адсорбера можно использовать аппараты с кипящим слоем зернистого адсорбента и аппараты вихревого типа [2]. Принципиальные схемы данных аппаратов представлены на рис. 2. В аппарате с кипящим слоем адсорбента (рис. 2а) воздух для утилизации теплоты подается снизу опорной решетки б. При этом зернистый силикагель, находящийся сверху решетки, переходит в кипящий слой 5 и омывает оребренный змеевик 3, в котором циркулирует антифриз для отвода теплоты.

Съем теплоты в аппарате вихревого типа (рис. 2б) осуществляется при помощи рубашки для антифриза 3, расположенной в прямоугольном канале 4 для сквозного двухфазного воздушного потока. Восходящий двухфазный воздушный поток образуется за счет поступления из накопителя б сползающих зерен силикагеля в воздух, направляемый в нижнюю часть аппарата.

Перевод зернистого адсорбента из неподвижного слоя в подвижное состояние – в кипящий слой (схема 2а), в сквозной двухфазный воздушный поток (схема 2б) – способствует интенсификации тепломассопереноса. При этом линейные размеры оборудования могут быть существенно уменьшены, потребуется меньшая производственная площадь для системы утилизации теплоты.

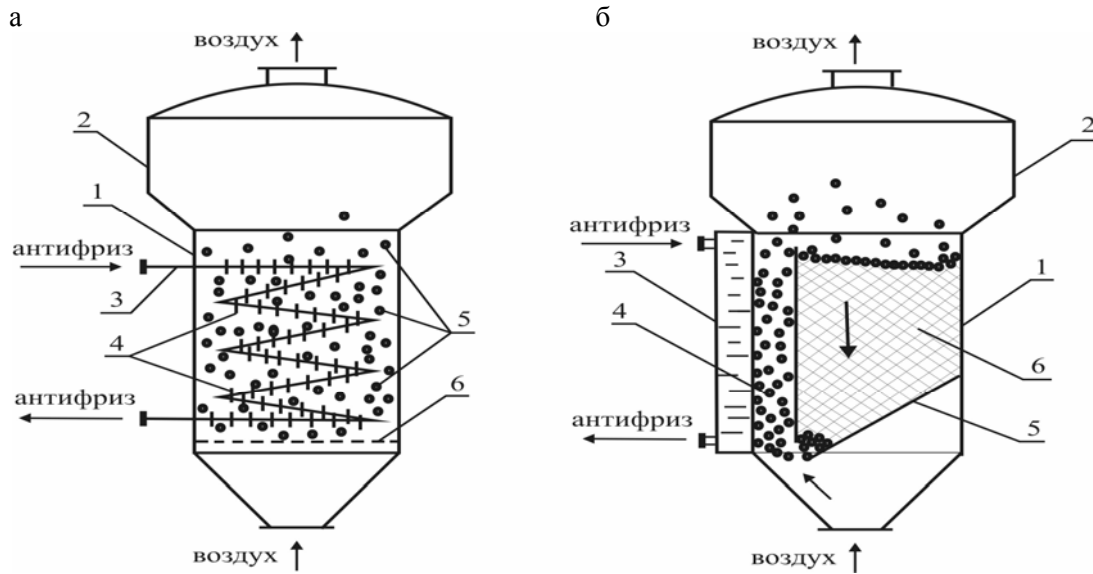


Рис. 2. Схемы аппаратов с подвижным слоем зернистого адсорбента:

- а – аппарат с кипящим слоем адсорбента: 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – змеевик с наружным оребрением; 4 – пластины для оребрения; 5 – кипящий слой адсорбента; 6 – решетка;
- б – аппарат вихревого типа: 1 – корпус; 2 – сепаратор; 3 – рубашка для антифриза; 4 – канал для сквозного потока (воздух + сорбент); 5 – лоток; 6 – накопитель сорбента

Для конструктивного расчета теплообменников-адсорберов разработана методология на основе применения числа единиц переноса. Определение числа единиц переноса осуществляют при помощи модифицированной *I-d*-диаграммы влажного воздуха [2].

Для оценки конвективного теплообмена в системе воздушный поток – стенка можно использовать следующие аналитические зависимости (Гельперин Н.И и авторы):

– в аппаратах с неподвижным продуваемым зернистым слоем (см. рис. 1)

$$Nu = 0,31 Re^{0,5} \left[(1-\varepsilon)^{0,5} / \varepsilon \right], \quad (2)$$

$$Nu = 0,1 Re^{0,8} \left[(1-\varepsilon)^{0,2} / \varepsilon \right]; \quad (3)$$

– в аппаратах кипящего слоя (рис. 2а)

$$Nu_{max} = 0,86 Ar^{0,2}; \quad (4)$$

– в аппаратах со сквозным двухфазным воздушным потоком (см. рис. 2б)

$$Nu = 0,3 Re^{0,54} Re_B^{0,38} \mu^{0,11}, \quad (5)$$

где *Re* – критерий Рейнольдса для однофазного потока; ε – порозность; *Re_B* – критерий Рейнольдса, рассчитанный по взвешивающей скорости воздушного потока, μ – весовая концентрация частиц сорбента в воздушном потоке, кг/кг; *Ar* – критерий Архимеда.

Уравнение (2) применимо при *Re* = 1,5...57; уравнение (3) – при *Re* = 57...1500; уравнение (5) – при *Re* = 14000...36500; *Re_B* = 3,6...5,3; μ = (0,25...1,79) кг/кг.

В работе [2] показано, что приращение количества утилизированной теплоты ΔQ , кВт, в предлагаемом способе по сравнению с традиционными равно:

$$\Delta Q = 2,93 \cdot G \cdot d_y, \quad (6)$$

где *G* – расход удаляемого воздуха, кг/ч; *d_y* – влагосодержание удаляемого воздуха, г/кг сух. возд.

Достоинством разработанного способа является возможность значительного увеличения количества утилизируемой теплоты от удаляемого воздуха из помещения за счет полного отбора скрытой теплоты водяных паров, содержащихся в нем на начальной стадии.

Список литературы

1. Кокорин, О.Я. Отечественное оборудование для создания систем вентиляции и кондиционирования воздуха. Каталог / О.Я. Кокорин. – М.: Экстра печать, 2005. – 97 с.
2. Аверкин, А.Г. Тепловлажностная обработка воздуха в системах вентиляции и кондиционирования / А.Г. Аверкин. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 188 с.
3. Способ утилизации теплоты газового (воздушного) потока: патент 2300056 РФ / Аверкин А.Г.; заявитель и патентообладатель Пензен. гос. ун-т архит. и строит. – № 2005104727; заявл. 21.02.05; опубл.10.05.07, Бюл. № 15.

References

1. Kokorin, O.Ja. Russian equipment to create ventilation and air-conditioning systems. Catalogue / O.Ja. Kokorin. – M.: «Extra print», 2005. – 97 p.
2. Averkin, A.G. Steam curing in air ventilation systems and air conditioning / A.G. Averkin. – Penza: PGUAS, 2011. – 188 p.
3. Method of recovering of heat of gas (air) flow: Patent 2300056 RF / Averkin A.G.; applicant and patentee PGUAS. – № 2005104727; appl. 21.02.05; publ.10.05.07, Bull. Number 15.

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

Гарькин Игорь Николаевич,
аспирант
E-mail: igor_garkin@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

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

Garkin Igor Nikolaevich,
Postgraduate
E-mail: igor_garkin@mail.ru

УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ НА ПОДВИЖНОМ ОСНОВАНИИ: ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ И СТРУКТУРНОЙ СХЕМ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин

Учитывая значительные трудности параметрической идентификации и определения физического смысла параметров многомерных и многосвязных систем управления объектом в пространстве, особенно на подвижном основании, рассматриваются приложения методов планирования эксперимента к синтезу сложных систем. Результаты исследований могут использоваться при проектировании сложных систем различного назначения.

Ключевые слова: объекты на подвижном основании, моделирование и управление, оптимизация, параметрическая идентификация, целевая функция, планирование эксперимента

CONTROL OF OBJECTS ON A MOVABLE BASE: CONSTRUCTIVE AND BLOCK DIAGRAM OPTIMIZATION

A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin

The authors consider applications the methods of experiment planning to the synthesis of complex systems (taking into account significant difficulties of parametric identification; determination of physical meaning of parameters of multivariate and multivariable systems of object management in space, especially on a movable base). The research results can be used in the design of complex systems for various applications.

Keywords: object on a movable base, modeling and control, optimization, parametric identification, the objective function, methods of experiment planning

Пространственные конструкции с позиций теории колебаний и управления являются многоканальными, многомерными, многосвязными; трудно поддаются параметрической идентификации [1–6]. Методы выбора конструктивной схемы системы в целом, особенно для систем управления на подвижном основании, до настоящего времени плохо разработаны. Ниже предлагается итерационная процедура синтеза как конструктивной схемы, так и структурной схемы систем управления, во многом опирающаяся на методы планирования эксперимента [7]. Проиллюстрируем

предложенный метод синтеза для наиболее сложного случая (управляемой в пространстве динамической системы на подвижном основании).

Рассмотрим слабодемпфированную управляемую систему с уравнениями движения в векторной форме

$$\begin{aligned} A\ddot{x} &= B\dot{x} + Cx + Vu + f^1; \\ \ddot{u} &= F\dot{x} + Mx + Wu + f^2, \end{aligned} \quad (1)$$

где

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T; u = (u_1, u_2, \dots, u_k)^T;$$

$A(c), B(c), C(c), V(c), F(c), M(c), W(c)$ – матрицы размерности $n \times n$, $n \times n$, $n \times n$, $n \times R$, $R \times n$, $R \times n$, $R \times R$ соответственно;

$$f^1 = (f_1^1(x, u, c), \dots, f_n^1(x, u, c))^T, f^2 = (f_1^2(x, u, c), \dots, f_n^2(x, u, c))^T.$$

Преобразуем систему (1) и приведем к виду

$$\ddot{z} = \tilde{A}\dot{z} + f, \quad (2)$$

где $z = (z_1, z_2, \dots, z_{2n+R})^T$; $z_i = \dot{x}_i, i = \overline{1, n}$;

$$z_i = x_i, i = \overline{n+1, 2n};$$

$$z_i = u_i, i = \overline{2n+1, 2n+R}.$$

Матрица \tilde{A} и столбец f будут иметь блочную структуру

$$\tilde{A} = \begin{bmatrix} A^{-1}B & A^{-1}C & A^{-1}V \\ E & 0 & 0 \\ F & M & W \end{bmatrix}, f = \begin{bmatrix} A^{-1}f^1 \\ 0 \\ f^2 \end{bmatrix},$$

где E – единичная матрица.

С учетом маломощности электромеханической управляемой системы и высоких требований к вибрации конструктивных элементов от работы электропривода целевая функция при синтезе принимается в виде

$$Q = \sum_{i=1}^n A_i \omega_i,$$

где A_i и ω_i – максимальные амплитуды и соответствующие им частоты, отобранные из условий

$$A_{k-1} < A_k > A_{k+1}; \quad A_k = \sqrt{a_k^2 + b_k^2}; \quad \omega_k = \frac{2\pi}{T} k$$

в разложении в ряд Фурье ошибки системы; a_k, b_k – коэффициенты Фурье.

Синтез производился по приведённому ниже алгоритму.

1. По результатам эскизно-технического проекта выбираются структурная схема САУ и конструктивная схема (конструктивные подсистемы и параметры упруго-демпфирующих связей между ними).

2. Составляются уравнения движения (математическая модель).

3. По предварительным конструктивным и динамическим проработкам определяется область изменения параметров c .

4. По результатам линейного синтеза определяется исходная точка в пространстве параметров.

5. Методом Бокса – Уилсона определяются

$$Q_{\text{опт}} = \inf Q(c), \quad c \in U$$

и точка $c = c_{\text{опт}} \in U$, в которой $Q(c_{\text{опт}}) = Q_{\text{опт}}$,

где $U = \{c_s : c_{s\text{min}} \leq c_s \leq c_{s\text{max}}, s = \overline{1, r}\}$.

6. Если требуемая точность САУ не достигается, производится уточнение структурной схемы САУ при прежней конструктивной схеме и далее выполняются п.п. 2–5.

7. Если требуемая точность вновь не достигается, производится коррекция конструктивной схемы и выполняются п.п. 2–6 и т.д.

Значения Q определяются в результате интегрирования уравнений движения с параллельным разложением в ряд Фурье ошибки САУ в интервале $[0, T]$; промежуток времени T , как и весь диапазон рассматриваемых частот, определяется из конструктивных соображений (для изучаемых систем $T \leq 20$ с, $\omega_{\text{max}} \leq 50$ с⁻¹).

Сначала в пространстве параметров решалась задача

$$\min \max_s \alpha'_s, \quad (3)$$

где α'_s – реальные части корней $\lambda'_s = \alpha'_s + j\omega'_s$ характеристического уравнения.

Полученная в результате решения задачи (3) точка (в пространстве параметров) принималась в качестве исходной. Далее методом Бокса – Уилсона производилась оптимизация параметров линейной системы по целевой функции весьма простого вида

$$Q' = \sum_{v=1}^{m'} A'_v \omega'_v,$$

где ω'_v, A'_v – отобранные резонансные частоты колебаний системы и соответствующие им амплитуды. Однако кажущаяся простота связана с необходимостью соблюдения большой осторожности отбора при близких парциальных частотах (сложность сопоставления конструктивных подсистем с имеющимися на виброкарте частотами), а также в связи с наличием нелинейностей в работе конструктивных элементов. При практическом синтезе управляемой системы требуется совмещение как аналитических, так и экспериментальных методов параметрической идентификации.

Точка, оптимальная в смысле минимума Q' , принималась за исходную точку при нелинейном синтезе, который производился по изложенной выше методике.

Блок-схема решения задачи приводится на рис. 1. Блок-схема вычисления целевой функции (рис. 1, блоки 8, 9) – на рис. 2.

Приняты обозначения:

$G = (G_1, G_2, \dots, G_r)$ – начальные значения параметров;

$D = \{D_{ij}\}, i = \overline{0, N}, j = \overline{0, r}$ – матрица планирования;

$I = (I_1, I_2, \dots, I_r)$ – интервалы варьирования параметров c_1, c_2, \dots, c_r ;

b_1, b_2, \dots, b_r – оценки коэффициентов регрессии;

$\delta c_1, \delta c_2, \dots, \delta c_r$ – величины шага движения в антиградиентном направлении;

$\Delta = (\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_r)$ – точность поиска экстремума соответственно по параметрам

c_1, c_2, \dots, c_r ;

$Q_0 = Q(G_1, G_2, \dots, G_r)$;

$Q_k = Q(D_{k1}I_1 + G_1, D_{k2}I_2 + G_2, \dots, D_{kr}I_r + G_r)$;

$Q_c = Q(c_1, c_2, \dots, c_r)$.

Предложенная процедура оптимизации с большой эффективностью использовалась при решении ряда практических задач [1, 5, 6].

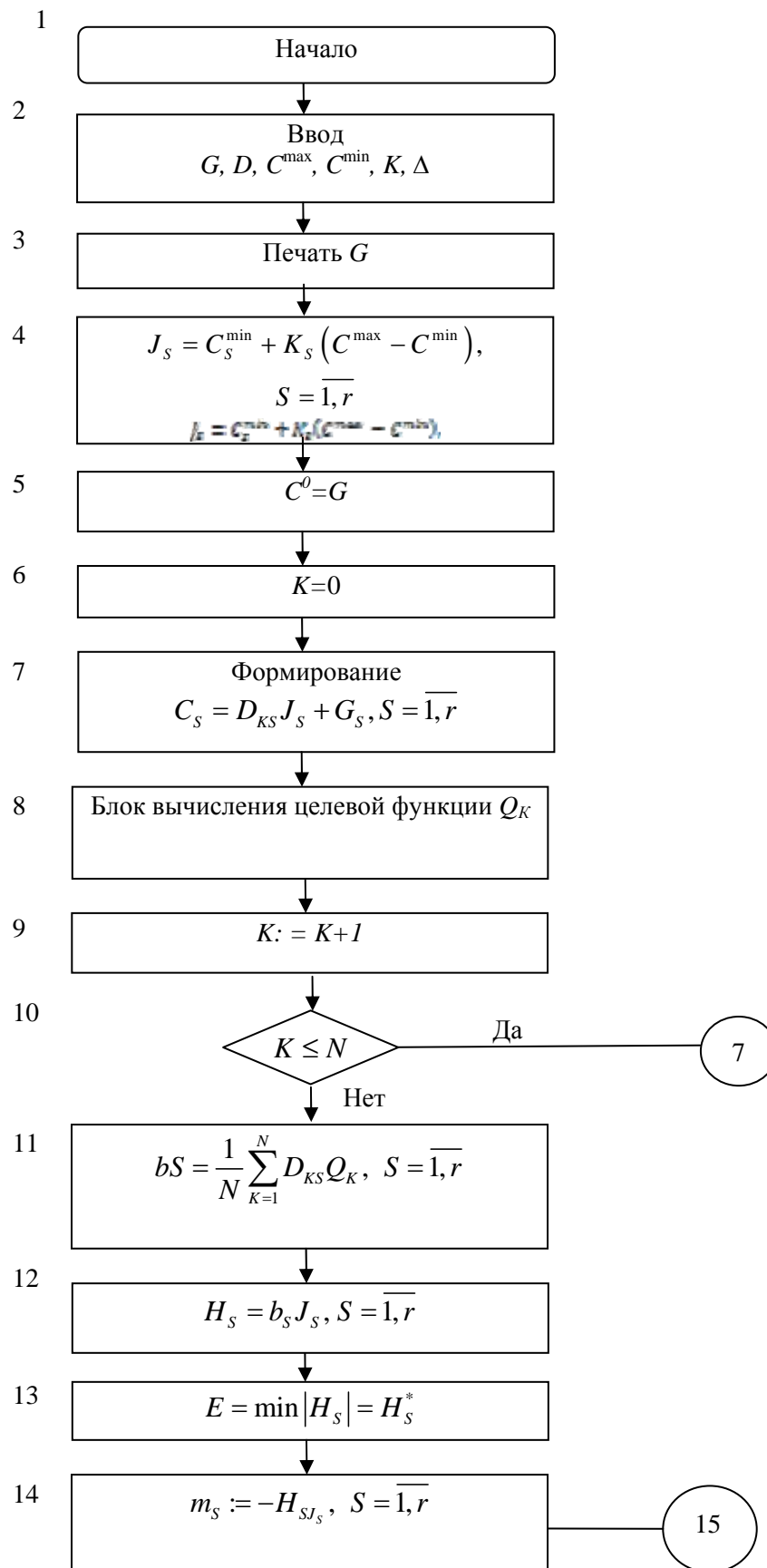


Рис.1 (начало)

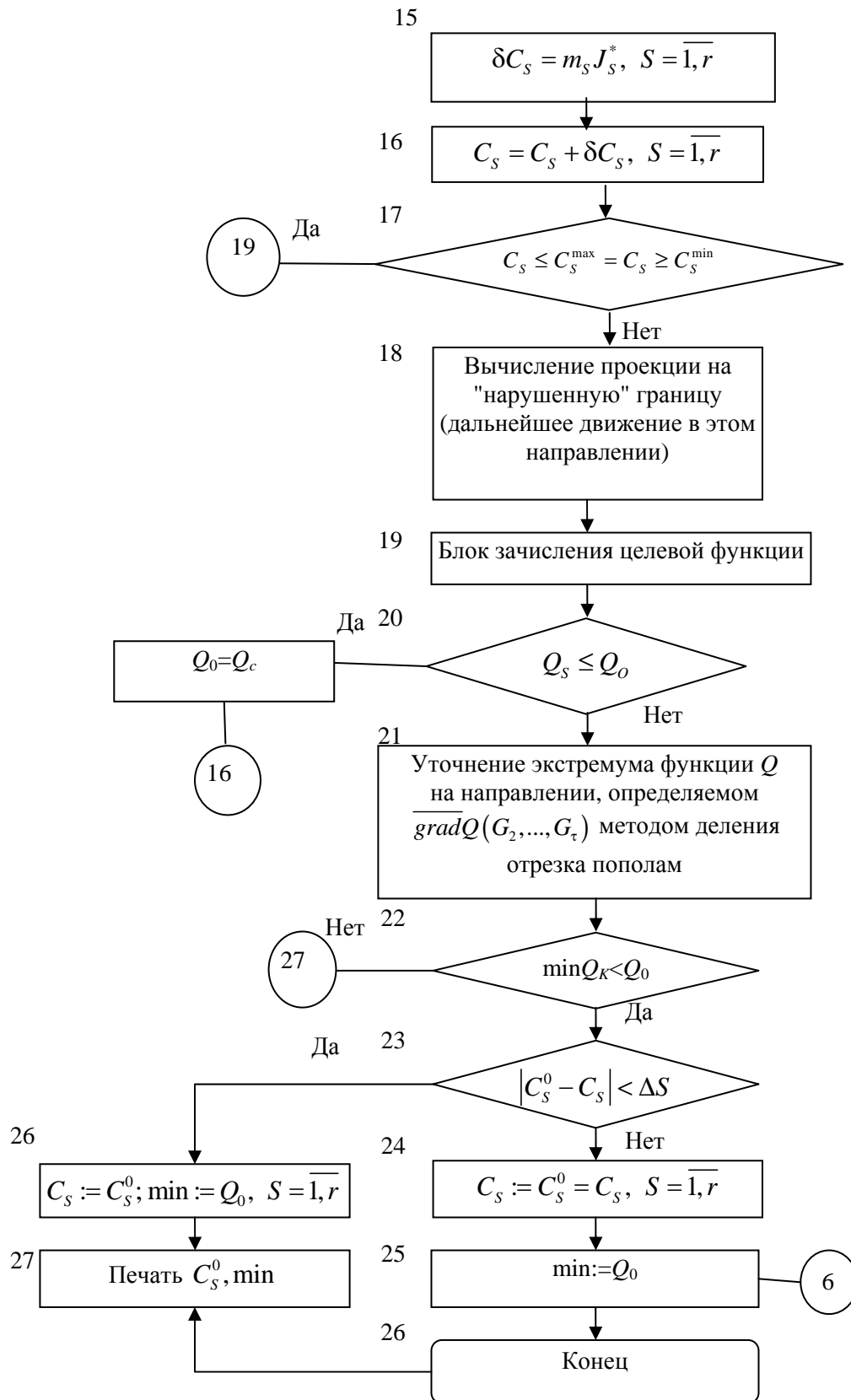


Рис.1 (окончание)

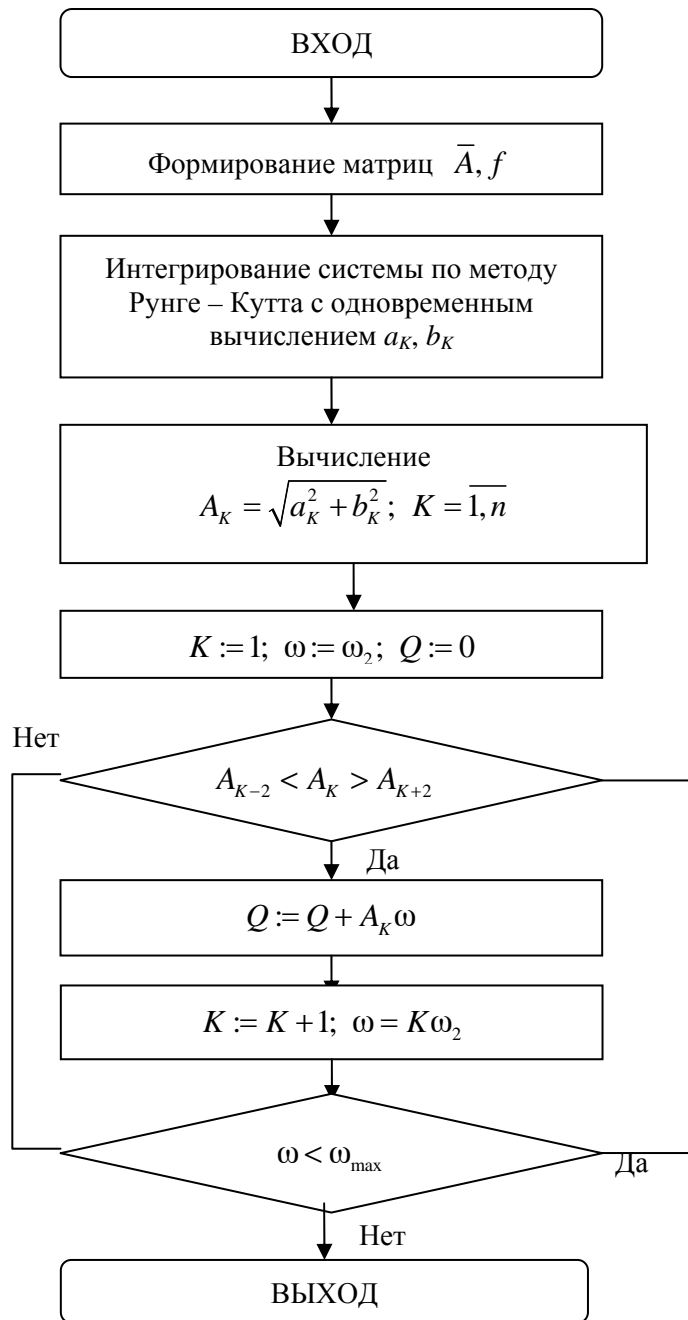


Рис.2

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Промышленные приложения системных методологий, теорий идентификации и управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2009. – № 2. – С. 77–81.
2. Будылина, Е.А. Приближенные методы декомпозиции при настройке имитаторов динамических систем / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 150–156.
3. Будылина, Е.А. Моделирование с позиций управления в технических системах / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 2. – С. 138–142.

4. Гарькина, И.А. Проблема многокритериальности при управлении качеством сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.О. Петренко // Мир транспорта и технологических машин. – 2013. – № 2 (41). – С. 123–129.
5. Гарькина, И.А. Формализованная оценка качества сложных систем: состояние и перспективы / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 2. – С. 34–37.
6. Гарькина, И.А. Управление качеством динамической системы: селекция информативных сигналов / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, О.А. Хнаев // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 1. – С. 137–141.
7. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных: моногр. / И.А. Гарькина [и др.]; под ред. проф. А.М.Данилова. – М.: Палеотип, 2005. – 272 с.

References

1. Garkina, I.A. Industrial application of system methodologies, theories, identification and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.R. Domke // Bulletin of the Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI). – 2009. – № 2. – P. 77–81.
2. Budylna, E.A. Approximate decomposition methods when configuring simulators dynamical systems / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 3. – P. 150–156.
3. Budylna, E.A. Modeling with control positions in technical systems / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 2. – P. 138–142.
4. Garkina, I.A. Multicriteriality problem with quality control of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.O. Petrenko // World of transport and technological machines. – 2013. – № 2 (41). – P. 123–129.
5. Garkina, I.A. Formal evaluation of the quality of complex systems: status and prospects / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. – 2012. – № 2. – P. 34–37.
6. Garkina, I.A. Quality control of dynamic systems: selection of informative signals / I.A. Garkina, A.M. Danilov, O.A. Hnaev // Regional architecture and engineering. – 2013. – № 1. – P. 137–141.
7. Planning of experiment. Processing of experimental data: monograph / I.A. Garkina [et al.] ed. prof. A.M.Danilova – М.: PALEOTYP, 2005. – 272 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

Гарькин Игорь Николаевич,
аспирант
E-mail: igor_garkin@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

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

Garkin Igor Nikolaevich,
Postgraduate
E-mail: igor_garkin@mail.ru

СПЕКТРАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ПРИ АНАЛИЗЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин

Рассмотрена возможность приложения корреляционных и спектральных методов к идентификации управляемых объектов на подвижном основании.

Ключевые слова: объекты на подвижном основании, идентификация, управление, параметры привода, конструктивные параметры, оптимизация

SPECTRAL METHODS IN THE ANALYSIS OF DYNAMIC SYSTEMS

A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin

An application of correlation and spectral methods to identify the managed object on a movable base is discussed.

Keywords: objects on a movable base, identification, control, drive parameters, design parameters, optimization

При обработке результатов наблюдений приходится встречаться со сложной задачей определения постоянных в формулах различного типа [1, 2]. Обычно характер функциональной зависимости между рядом значений переменных X, Y , полученных в результате наблюдений, неизвестен. Требуется определение аналитического выражения зависимости между X и Y (эмпирическая формула).

Необходимо отчетливо сознавать, что в силу ограниченности числа и наличия случайных ошибок измерений математическая обработка результатов наблюдений обычно не дает возможности разгадать истинный характер зависимости между имеющимися переменными. Речь может идти лишь о том, чтобы охватить результаты опыта наиболее простой формулой, которая давала бы возможность производить интерполяцию и применить к наблюдаемым данным методы математического анализа. Часто существенную помощь при определении эмпирических формул оказывает использование функциональных шкал (приведение графиков многих функций к прямолинейному виду; нахождение параметров нелинейных зависимостей).

При анализе случайных процессов, в том числе процессов управления, особую роль играют автокорреляционные функции. Их роль значительна и при проектиро-

вании и для анализа параметров эксплуатации многих сложных систем (строительные конструкции, комплексы для подготовки операторов эргатических систем и др.).

Так, при проектировании мобильных систем различного назначения используется описание сигналов функциями частоты:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt,$$

где $|S(\omega)|$ – спектр амплитуд, $\psi(\omega) = \arg(S(\omega))$ – спектр фаз; физический смысл представления функции $x(t)$ в частотной области очевиден. Амплитуда и частота спектральных компонент, входящих в состав анализируемого процесса, легко определяются с использованием анализаторов спектров (основной характеристикой является разрешающая способность – наименьший интервал Δf по частоте между двумя спектральными линиями). Известно, получение истинного спектра возможно лишь в случае периодичности $x(t)$ (существует только в пределах интервала T); определение

точности оценки требует знания самого точного спектра $S(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt$. Ис-

пользование анализатора позволяет получить лишь оценку $S_T(t_1, \omega) = \int_{t_1}^{t_1+T} x(t) e^{-j\omega t} dt$

(текущий спектр зависит от t_1 и T), а не истинный спектр.

Особый интерес представляет аппроксимация автокорреляционных функций.

При $R(\tau) = \sum_{k=1}^n A_k e^{-c_k|\tau|}$ справедливо:

$$S_{xx}(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R_{xx}(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = 2 \int_0^{\infty} R_{xx}(\tau) \cos \omega\tau d\tau = 2 \sum_{k=1}^n A_k \int_0^{\infty} e^{-c_k|\tau|} \cos \omega\tau d\tau = 2 \sum_{k=1}^n \frac{A_k c_k}{c_k^2 + \omega^2};$$

а при

$$R(\tau) = A_0 e^{-c_0|\tau|} \cos \beta\tau + \sum_{k=1}^n A_k e^{-c_k|\tau|}$$

(часто принимается $c_k = kc$; $c > 0$, $e^{-c|\tau|} \rightarrow 0$ ориентировочно с той же скоростью,

что и $R_{xx}(\tau) = \sum_{k=1}^n A_k e^{-kc|\tau|}$) –

$$S_{xx}(\omega) = 2A_0 \int_0^{\infty} e^{-c_0|\tau|} \cos \beta\tau \cos \omega\tau d\tau + 2 \sum_{k=1}^n A_k \int_0^{\infty} e^{-c_k|\tau|} \cos \omega\tau d\tau.$$

Откуда следует

$$S_{xx}(\omega) = 2 \left[\sum_{k=1}^n \frac{A_k c_k}{c_k^2 + \omega^2} + A_0 c_0 \frac{(c_0^2 + b^2) + \omega^2}{\omega^4 + 2(c_0^2 - b^2)\omega^2 + (c_0^2 + b^2)^2} \right].$$

При

$$R_{xx}(\tau) = \sum_{k=1}^n B_k \varphi_k(\tau);$$

$$\varphi_k(\tau) = a_{k1} e^{-c|\tau|} + a_{k2} e^{-2c|\tau|} + \dots + a_{kk} e^{-kc|\tau|}$$

a_{ki} ($k \geq i$) определяются из условий $\int_0^{\infty} \varphi_k(\tau) \varphi_i(\tau) d\tau = 0$, $k \neq i$;

$$B_k \text{ из } I = \int_0^{\infty} \left[R_{xx}(\tau) - \sum_{k=1}^n B_k \varphi_k(\tau) \right]^2 d\tau = \min.$$

В случае

$$R_{xx}(\tau) \approx R_1(\tau) = A_0 e^{-c_0|\tau|} \cos b\tau$$

справедливо:

$$A_0 = R(0), b = \frac{k\pi}{T_k}, c_0 = \frac{b}{\pi} \ln \left| \frac{R(0)}{R(\tau_1)} \right|;$$

T_k ($R(T_k) = 0$), $R(\tau_1)$ – значение первого отрицательного максимума автокорреляционной функции. Далее аппроксимируем

$$R_2(\tau) = R_{xx}(\tau) - R_1(\tau) = R_{xx}(\tau) - A_0 e^{-c_0|\tau|} \cos b\tau$$

описанным выше методом в виде $R_2(\tau) = \sum_{k=1}^n A_k e^{-c_k|\tau|}$.

Представление автокорреляционной функции в виде

$$R(\tau) = A_0 e^{-c_0|\tau|} \cos \beta\tau + \sum_{k=1}^n A_k e^{-c_k|\tau|}$$

играет особо важную роль при анализе управляемых систем на подвижном основании. В таких системах резко возрастают требования к жесткости конструкции и снижению вибраций конструктивных элементов от работы приводов систем управления [3–6]. Частично проблемы решаются с использованием муфт со многими степенями свободы (между ротором и редуктором) в приводе и различных демпфирующих устройств (в том числе поглотителей Фрама).

Рассмотрим стабилизацию объекта на подвижном основании, линеаризованные уравнения движений которой в форме Лагранжа имеют вид:

$$M \ddot{x} + Md\ddot{\psi} = -2c \left[1 - \frac{l_n}{l_p^3} (l_p^2 - n^2) \right] \dot{x} - 2b \frac{n^2}{l_p^2} \dot{x} + 2cn^2 \frac{l_n \sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^3} \psi + 2bn^2 \frac{\sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^2} \psi.$$

$$Md \ddot{x} + (I_0 + Md^2) \ddot{\psi} + I_\tau \ddot{\phi} + I_p \ddot{\chi} = 2cn^2 \frac{l_n \sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^3} x + 2bn^2 \frac{\sqrt{l_p^2 - n^2}}{l_p^2} \dot{x} -$$

$$- \left[2cn^2 \frac{l_n (l_p^2 - n^2)}{l_p^3} + Mgd \right] \psi - 2bn^2 \frac{l_p^2 - n^2}{l_p^2} \psi;$$

$$I_\tau (\ddot{\psi} + \ddot{\phi}) = c_n \left(\frac{\chi}{l} - \phi \right) + b_n \left(\frac{\dot{\chi}}{l} - \dot{\phi} \right);$$

$$I_n (\ddot{\psi} + \ddot{\phi}) = k_m u - F \dot{\chi} - \frac{c_n}{i} \left(\frac{\chi}{i} - \phi \right) - \frac{b_n}{i} \left(\frac{\dot{\chi}}{i} - \dot{\phi} \right).$$

Добавив уравнение усилителя системы стабилизации

$$T\dot{u} + u = -k(\chi + \phi)$$

к системе уравнений, получим замкнутую систему уравнений движения.

Приняты обозначения:

ψ – абсолютный угол поворота платформы;

χ – угол поворота ротора двигателя относительно платформы;

φ – угол поворота объекта относительно платформы;

x, y – декартовы координаты точки A платформы (лежит на оси симметрии);

M – масса всей системы;

d – расстояние от центра тяжести системы до точки A ;

c, b – коэффициенты жесткости и демпфирования нитей соответственно;

c_n, b_n – коэффициенты жесткости и демпфирования привода соответственно;

l_n, l_p – длины нитей, соответственно натуральная и в положении равновесия;

I_0, I_T, I_p – моменты инерции соответственно всей системы относительно оси, проходящей через ее центр тяжести (объекта относительно оси вращения и ротора двигателя с приведенными к нему моментами инерции элементов редуктора);

k_M – крутизна моментной характеристики двигателя;

F – коэффициент индуктивного сопротивления двигателя;

k, T – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени усилителя;

i – передаточное отношение редуктора.

При идентификации системы принимались: $M = 546 \text{ кг с}^2/\text{м}$; $d = 3,43 \text{ м}$, $c = 1,1 \cdot 10^4 \text{ кг/м}$, $b = 10^2 \text{ кг с/м}$, $I_0 = 2,23 \cdot 10^3 \text{ кг м с}^2$, $I_T = 2,2 \cdot 10^2 \text{ кг м с}^2$, $I_p = 1,53 \cdot 10^{-7} \text{ кг м с}^2$, $i = 3,7 \cdot 10^5$, $l_n = 68,8 \text{ м}$, $l_p = 69 \text{ м}$, $n = 1 \text{ м}$, $k_M = 1,65 \cdot 10^{-6} \text{ кг м/в}$, $F = 6,6 \cdot 10^{-6} \text{ кг м с/рад}$, $k = 4 \cdot 10^3 \text{ в/рад}$, $T = 3 \cdot 10^{-2} \text{ с}$. Оказалось, при значениях $c_n = 1,88 \cdot 10^5 \text{ кг м/рад}$, $b_n = 100 \text{ кг м с/рад}$ система уравнений с хорошей точностью описывает работу привода (входная величина – угловая скорость ротора двигателя, приведенная к выходному валу редуктора $\frac{\chi}{i}$, а выходная – абсолютная угловая скорость объекта);

колебания объекта на собственной частоте ($f_0 = 4,5 \text{ Гц}$) оказывают существенное влияние на ошибку системы стабилизации по скорости. Увеличение коэффициентов жесткости и демпфирования привода (в реализуемых пределах) существенно уменьшает влияние упругости привода на ошибку системы.

Список литературы

1. Планирование эксперимента. Обработка опытных данных: монография / И.А. Гарькина [и др.]; под ред. проф. А.М. Данилова. – М.: Палеотип, 2005. – 272 с.
2. Данилов, А.М. Сложные системы: идентификация, синтез, управление: монография / А.М. Данилов, И.А. Гарькина. – Пенза: ПГУАС, 2011. – 308 с.
3. Будылина, Е.А. Декомпозиция динамических систем в приложениях / Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 95–100.
4. Данилов, А.М. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – №3(14). – С. 85–89.
5. Гарькина, И.А. Промышленные приложения системных методологий, теорий идентификации и управления / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Э.Р. Домке // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). – 2009. – № 2. – С. 77–81.
6. Данилов, А.М. Математическое моделирование сложных систем: состояние, перспективы, пример реализации / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Вестник гражданских инженеров. – 2012. – № 2. – С. 333–337.

References

1. Planning of experiment. Processing of experimental data: monograph / I.A. Garkina [et al.]; ed. prof. A.M.Danilova. – M.: PALEOTYP, 2005. – 272 p.
2. Danilov, A.M., Garkina I.A. Complex systems: identification, synthesis, control: monograph. – Penza: PGUAS. –2011. – 308 p.
3. Budylna, E.A. Dekompozitsiya dynamic systems in applications / E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov // Regional architecture and engineering. –2013. – № 3. – P. 95–100.
4. Danilov, A.M. Shock and vibration accompanying: exponential-trigonometric approximation of functions / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2012. –№3 (14). –P.85–89.
5. Garkina, I.A. Industrial application of system methodologies, theories, identification and control / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.R. Domke // Bulletin of the Moscow State Automobile and Road Technical University (MADI). – 2009. – № 2. – P. 77–81.
6. Danilov, A.M. Matematicheskoe modeling of complex systems: state, prospects, an example of implementation / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Bulletin of Civil Engineers. – 2012. – № 2. – P. 333–337.

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

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской академии наук и Академии
информатизации образования, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@pguas.ru

Кошева Наиля Вафаевна,
кандидат химических наук, доцент,
старший научный сотрудник НИС

Поддорогин Ростислав Николаевич,
старший преподаватель кафедры
«Информационно-вычислительные
системы»
E-mail: poddor@mail.ru

*Новосибирский государственный
технический университет*

Россия, 630073, Новосибирск,
просп. Карла Маркса, 20.
тел.: +7 (383) 346-11-21

Варенцов Валерий Константинович,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Химия»
E-mail: vvk@ngs.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

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architecture and Building the full member of
the New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Professor of the department «Information and
computing systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

Kosheva Nailya Vafayevna,
Candidate of Chemistry Science, Associate
Professor, senior research associate of the
department «Scientific and research sector»

Poddorogin Rostislav Nikolaevich,
senior teacher of the department «Information
and computing systems»
E-mail: poddor@mail.ru

Novosibirsk State Technical University

Russia, 630073, Novosibirsk,
20, Prospekt K. Marksa
tel.: +7(383) 346-11-21

Varentsov Valery Konstantinovich,
Doctor of Sciences, Professor of the
department «Chemistry»
E-mail: vvk@ngs.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ И РАСЧЕТ РЕЖИМА ЦИРКУЛЯЦИОННОЙ ПОДАЧИ ЭЛЕКТРОЛИТА ПРИ ЭЛЕКТРОЛИЗЕ НА ПРОТОЧНОМ ТРЕХМЕРНОМ ЭЛЕКТРОДЕ*

А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, Н.В. Кошева, Р.Н. Поддорогин

Предложена система дифференциальных уравнений для расчета циркуляционного режима обработки раствора при извлечении металлов из растворов электрохимических производств и промышленных сточных вод. Приведено решение задачи для случаев линейной зависимости производительности электролизера от входной концентрации ионов металла в условиях работы электролизера в режиме предельного диффузионного тока.

Ключевые слова: электролизер, проточный трехмерный электрод, математическая модель, электроосаждение металлов, рециркуляция раствора

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках базовой части.

MATHEMATICAL DESCRIPTION AND CALCULATION OF THE MODE OF CIRCULATING SUPPLY OF ELECTROLYTE AT ELECTROLYSIS ON THE FLOWING THREE-DIMENSIONAL ELECTRODE

A.N. Koshev, V.K. Varentsov, N.V. Kosheva, R.N. Poddorogin

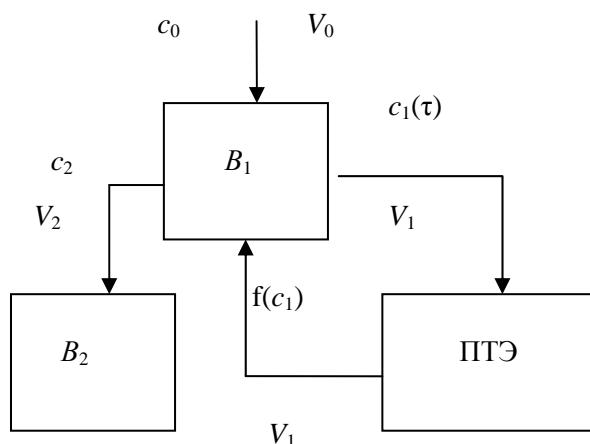
The system of differential equations for calculation of a circulating mode of processing the solution at extraction of metals from solutions of electrochemical productions and industrial sewage is offered. The solution of the task for cases of linear dependence of productivity of the electrolyzer from entrance concentration of metal ions is provided in operating conditions of the electrolyzer in a mode of limit diffusive current.

Keywords: electrolyzer, flowing three-dimensional electrode, mathematical model, electrodeposition of metals, solution recirculation

Проточные трехмерные электроды (ПТЭ) широко применяются для извлечения металлов из растворов с их низкой концентрацией: в гидрометаллургии, гальванотехнике, кино-, фотокопировальной и ювелирной промышленности [1–3].

Рассмотрим математическое описание для расчета простой циркуляционной схемы электроосаждения металла на ПТЭ из углеродных волокнистых материалов, часто используемой при электролизе.

Схема циркуляционного процесса приведена на рисунке.



Циркуляционная схема электроосаждения металла:

ПТЭ – электролизер с проточными трехмерными электродами; c_i – концентрация ионов металла; V – объемные скорости протока раствора; B – ёмкости с раствором

Обрабатываемый раствор с концентрацией ионов металла c_0 и скоростью V_0 поступает в ёмкость B_1 , далее из ёмкости B_1 с концентрацией ионов металла c_1 и скоростью V_1 подается в электролизер с ПТЭ, в котором происходят электроосаждение металла и уменьшение его концентрации до $f(c_1)$, затем раствор со скоростью V_1 поступает в ёмкость B_1 . При достижении необходимой степени извлечения металла раствор выводится из системы с концентрацией c_2 и скоростью V_2 в ёмкость B_2 .

Считая заданной производительность электролизера ПТЭ – $f(c)$, запишем закон сохранения для объема раствора Q и количества ионов металла в растворе в ёмкости B_1 с учетом осажденного металла в электролизере с ПТЭ в момент времени τ :

$$c_1(\tau + \Delta\tau) Q_1 = c_1(\tau) Q_1 - c_1(\tau) V_1(\tau) \Delta\tau + f(c_1) V_1(\tau) \Delta\tau. \quad (1)$$

Группируя выражения в данном уравнении и переходя к пределу по $\Delta\tau \rightarrow 0$, получим дифференциальное уравнение, описывающее материальный баланс для приведенной на рисунке циркуляционной схемы извлечения металла из раствора электролита:

$$Q_1 \frac{dc_1}{d\tau} = -V_1 c_1 + V_1 f(c_1). \quad (2)$$

Поставленная задача может быть легко решена при условии, когда задана функция $f(c)$. В общем случае, при электроосаждении металла на проточные трехмерные электроды функцию $f(c)$ можно рассчитать, используя математические модели, описанные в [4–6]. Рассмотрим вид функции $f(c)$ для случая линейной зависимости, когда $f(c) = (1 - \gamma)c$, где $0 \leq \gamma \leq 1$. Такая форма зависимости функции производительности электролизера реализуется, когда распределение процесса электролиза по толщине электрода близко к равномерному, и для случая, когда ПТЭ по всему объему работает на предельном диффузионном токе, т.е. когда в каждой точке электрода скорость процесса лимитируется диффузией разряжающихся ионов металла. Каждый из этих случаев соответствует конкретной технологической ситуации, имеющей практическое значение. Первый из них характеризует задачу, когда металл на ПТЭ необходимо осадить наиболее равномерно по толщине электрода (координата $0 \leq x \leq L$, где L – толщина ПТЭ). Второй случай предполагает возможность осаждения на электроде как можно большего количества металла за определенное время, независимо от равномерности распределения осадка на ПТЭ.

Рассмотрим одномерную стационарную модель работы ПТЭ, которая представляет собой систему обыкновенных дифференциальных уравнений и описывает распределение поляризации E , плотности тока j_s , концентрации электроактивного компонента c в проточном трехмерном электроде вполне адекватно для многих технологических ситуаций [4–6]:

$$\frac{d^2 E}{dx^2} = \left(\frac{1}{\kappa_T} + \frac{1}{\kappa_{\text{ж}}} \right) S_V j_s; \quad (3)$$

$$\frac{dE}{dx}(0) = -\frac{I}{\kappa_T}; \quad \frac{dE}{dx}(L) = \frac{I}{\kappa_{\text{ж}}}; \quad (4)$$

$$\frac{dC}{dx}(x) = -\frac{S_V}{VZF} j_s(x). \quad (5)$$

Здесь V – линейная скорость потока раствора; κ_T , $\kappa_{\text{ж}}$ – соответственно, удельные электропроводности электрода и электролита; S_V – удельная реакционная поверхность; Z – число электронов, участвующих в электрохимической реакции; F – число Фарадея; I – габаритная плотность тока, проходящего через электрод.

Рассмотрим указанные случаи линейной зависимости функции $f(c)$ от концентрации электроактивного компонента и приведем соответствующее им решение моделирующих уравнений.

Будем считать, что определены условия функционирования ПТЭ, при которых металлический осадок равномерно распределяется по толщине электрода. Этого можно добиться, например, рассчитав оптимальную электропроводность углеграфитового материала катода как функцию координаты x – $\kappa_T(x)$ [7] и правильно выбрав габаритную плотность тока как функцию входной концентрации [8], которую в первом приближении можно считать линейной $I(c_0) = kc_0$ с некоторым эмпирическим множителем k . Тогда $j_s(x) = I/L$, и непосредственным интегрированием уравнения (5) в пределах от 0 до L нетрудно получить выражение

$$c(L) = c(0) - \frac{S_V k}{VZF} c(0), \quad (6)$$

из которого следует линейная зависимость $f(c) = (1 - \gamma)c$, с $\gamma = \frac{S_V k}{VZF}$.

При решении технологической задачи электролиза с использованием циркуляционной схемы, когда весь ПТЭ работает в условиях предельного диффузионного тока [9], необходимо предварительно определить габаритную плотность тока I , толщину электрода L , обеспечивающие режим предельного диффузионного тока при заданной степени извлечения металла $R = 1 - \frac{c_L}{c_0}$, где c_0, c_L – значения концентрации осаждаемого металла на входе и на выходе из ПТЭ. В этом случае для расчета предельного диффузионного тока воспользуемся соотношением

$$j_s(x) = j_{np}(x) = ZFk_m c(x). \quad (7)$$

Здесь k_m – коэффициент массопереноса, величина которого определяется конфигурацией и диаметром частиц, составляющих ПТЭ, а также гидродинамикой процесса [11].

Интегрируя уравнение (3) от 0 до L , с учетом уравнения (10) получим:

$$\frac{I}{\kappa_{ж}} = -\frac{I}{\kappa_{т}} + \left(\frac{1}{\kappa_{т}} + \frac{1}{\kappa_{ж}} \right) S_v ZFk_m c_0 \frac{V}{S_v k_m} \left(1 - \exp\left(-\frac{S_v k_m L}{V}\right) \right). \quad (8)$$

И, так как

$$j_{np}(L) = ZFk_m c_0 \exp\left(-\frac{S_v k_m L}{V}\right),$$

то

$$\frac{I}{\kappa_{ж}} = -\frac{I}{\kappa_{т}} + \left(\frac{1}{\kappa_{т}} + \frac{1}{\kappa_{ж}} \right) ZFC_0 V \left(1 - \frac{j_{np}(L)}{ZFK_m C_0} \right). \quad (9)$$

Из выражения (9) с учетом соотношения (7) нетрудно получить оценку габаритной плотности тока I^* , обеспечивающего предельный диффузионный ток в конечной точке электрода L и, следовательно, работу всего ПТЭ в условиях предельного тока, а также толщины электрода L^* , обеспечивающей работу всего электрода в режиме предельного тока:

$$I^* = ZFC_0 VR; \quad (10)$$

$$L^* = -\frac{V \ln(1-R)}{S_v k_m}. \quad (11)$$

Итак, используя формулы (10), (11), по заданной степени извлечения металла R , пропорциональной производительности ПТЭ, определяем технологические условия, обеспечивающие работу всего электролизера на предельном диффузионном токе, а функцией производительности в этом случае будет выражение $f(c) = c_L = (1-R)c$, т.е. $\gamma = R$.

Приведем решение уравнения (2) для описанных случаев:

$$c_1(\tau) = c_0 \exp\left(-\frac{\gamma V \tau}{Q_1}\right). \quad (12)$$

Формула (12) дает возможность вычислить время циркуляционного процесса, необходимое для понижения концентрации металла в емкости B_1 до заданного уровня. Например, чтобы выполнялось соотношение $c(\tau)/c_0 \leq \varepsilon$, должно обеспечиваться условие

$$\tau \geq -\frac{\ln \varepsilon \cdot Q_1}{V \cdot \gamma}.$$

Из формуле (12) нетрудно также определить объем емкости V_1 такой, чтобы за определенное время τ концентрация в емкости понизилась до заданного значения c_τ :

$$Q_1 = - \frac{V \cdot \gamma \cdot \tau}{\ln(c_\tau / c_0)}.$$

Полученные формулы могут использоваться при разработке технологии электроосаждения металла на ПТЭ в режиме циркуляции раствора электролита.

Список литературы

1. Варенцов, В.К. Электролиз с объемно-пористыми проточными электродами в гидрометаллургии благородных металлов / В.К. Варенцов // Известия СО АН СССР. Сер. химических наук. – 1984. – № 17, вып. 6. – С.106–120.
2. Варенцов, В.К. Электролиз с проточными углеродными электродами в решении вопросов извлечения благородных металлов из отходов ювелирного производства / В.К. Варенцов, В.И. Варенцова // Химия в интересах устойчивого развития. – 2004. – № 3. – С. 293–303.
3. Варенцов, В.К. Электролиз с трехмерными электродами в процессах регенерации металлов из промывных растворов гальванических производств / В.К. Варенцов // Известия СО АН СССР. Сер. химических наук. – 1988. – Вып. 3. – С. 124–138.
4. Кошев, А.Н. Анализ математических моделей и теория распределения поляризации проточных объемно-пористых электродов / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина // Физикохимия поверхности и защита материалов. – 2009. – Т. 45. – С.441–448.
5. Кошев, А.Н. Математическое моделирование и теория распределения поляризации в электрохимических реакторах с проточными объемно-пористыми катодами / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, М.А. Чиркина, В.Г. Камбург // Математическое моделирование. – 2011. – № 8. – С. 110–126.
6. Кошев, А.Н. Процессы в пористом электроде в случае распределенной скорости протока электролита / А.Н. Кошев, В.К. Варенцов, И.Ф. Сухов, И.Г. Гвоздева // Математическое моделирование. – 2013. – № 2. – С. 97–110.
7. Кошев, А.Н. К вопросу об оптимальном по критерию равномерности выборе распределения электропроводности углеродного материала по толщине проточного объемно-пористого электрода / А.Н. Кошев, И.Г. Гвоздева, В.К. Варенцов // Электрохимия. – 1999. – Т. 35, №6. – С. 784–788.
8. Koshev, A.N. Parameters of Electrolysis in 3D Flow Electrode in Limiting Diffusion Current Mode / A.N. Koshev, V.K. Varentsov // Russian Journal of Electrochemistry. – 2010. – Vol. 46, No. 8. – P. 912–917.
9. Кошев, А.Н. Теоретические основы расчета проточных объемно-пористых катодов из углеродных волокнистых материалов / А.Н. Кошев, А.А. Давыденко, В.К. Варенцов // Электрохимия. – 1997. – Т. 33, №1. – С. 20–25.
10. Варенцов, В.К. Современные проблемы технической электрохимии. Трехмерные проточные электроды / В.К. Варенцов. – Новосибирск: Изд-во Новосибирского техн. ун-та, 2005. – 120 с.

References

1. Varentsov, V.K. Electrolysis with volume-porous flowing electrodes in hydrometallurgy of precious metals / V.K. Varentsov // News from Academy of Sciences of the USSR. Series of chemical sciences. – 1984 – № 17, release 6. – P. 106–120.
2. Varentsov, V.K. Electrolysis with flowing carbon-graphite electrodes in the solution of questions of extraction of precious metals from waste of jeweler production / V.K. Varentsov, V.I. Varentsova // Chemistry in interests of a sustainable development. – 2004.– № 3. – P. 293–303.
3. Varentsov, V.K. Electrolysis with three-dimensional electrodes in processes of regeneration of metals of washing solutions of galvanic productions / V.K. Varentsov //

News from Academy of Sciences of the USSR. Series of chemical sciences. – 1988. – Release 3. – P. 124–138.

4. Koshev, A.H. Analysis of mathematical models and theory of distribution of polarization of flowing volume-porous electrodes / A.H. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina // Fizikokhimiya surfaces and protection of materials. – 2009. – V.45. – P. 441–448.

5. Koshev, A.H. Mathematical modeling and the theory of distribution of polarization in electrochemical reactors with flowing volume-porous cathodes / A.H. Koshev, V.K. Varentsov, M.A. Chirkina, V.G. Kamburg // Mathematical modeling. – 2011. – № 8. – P. 110–126.

6. Koshev, A.H. Processes in a porous electrode in case of the distributed speed of a stream of electrolyte / A.H. Koshev, V.K. Varentsov, I.F. Sukhov, I.G. Gvozdeva // Mathematical modeling. – 2013. – № 2. – P. 97–110.

7. Koshev, A.N. To a question about an optimum choice by criterion of uniformity of distribution of conductivity of a carbon-graphite material on thickness of a flowing volume and porous electrode / A.N. Koshev, I.G. Gvozdeva, V.K. Varentsov // Electrochemistry. – 1999. – Vol. 35, №. 6. – P. 784–788.

8. Koshev, A.N. Parameters of Electrolysis in 3D Flow Electrode in Limiting Diffusion Current Mode / A.H. Koshev, V.K. Varentsov // Russian Journal of Electrochemistry. – 2010. – Vol. 46, № 8. – P. 912–917.

9. Koshev, A.N. Theoretical bases of calculation of flowing volume-porous cathodes from carbon and graphite fibrous materials / A.N. Koshev, A.A. Davydenko, V.K. Varentsov // Electrochemistry. – 1997. – T. 33, № 1. – P. 20–25.

10. Varentsov, V.K. Modern problems of technical electrochemistry. Three-dimensional flowing electrodes / V.K. Varentsov. – Novosibirsk: Publishing house of Novosibirsk technical university, 2005. – 120 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

Кузина Валентина Владимировна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: kuzina@pguas.ru

Кошев Александр Николаевич,
доктор химических наук, профессор,
советник РААСН, действительный член
Нью-Йоркской академии наук и Академии
информатизации образования, профессор
кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: koshev@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

Kuzina Valentina Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Information and
computing systems»
E-mail: kuzina@pguas.ru

Koshev Alexander Nikolaevich,
Doctor of Chemistry Science, Professor,
Adviser of the Russian Academy of
Architecture and Building the full member of
the New York Academy of Sciences and
Academy of information of education,
Professor of the department «Information and
computing systems»
E-mail: koshev@pguas.ru

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА ПРИМЕСИ В ВОДНОЙ СРЕДЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕМАТИЧЕСКИХ ПАКЕТОВ

В.В. Кузина, А.Н. Кошев

Рассматриваются вопросы математического моделирования процессов диффузионного и конвективно-диффузионного переноса примеси в водной среде с применением специализированных математических программ на примере пакета MathCAD.

Ключевые слова: перенос примеси в водной среде, пакеты математических программ, математическое моделирование

MATHEMATICAL MODELLING AND CALCULATION THE PROCESSES OF IMPURITY TRANSFER IN WATER ENVIRONMENT WITH THE USE OF MATHEMATICAL PACKAGES

V.V. Kuzina, A.N. Koshev

The use of special mathematical programs on the example of a MathCAD package is shown in mathematical modeling the processes of diffusive and convective diffusive transfer of impurity in water environment.

Keywords: impurity transfer in the water environment, packages of mathematical programs, mathematical modeling

Системы с водными средами и развивающимися в них процессами конвективного, диффузионного и диффузионно-конвективного типов представляют научный интерес как для задач контроля и прогнозирования динамики экологических систем с техногенной нагрузкой, так и для теории процессов извлечения примесей: вредных – в задачах экологии, полезных – при создании технологий получения веществ и материалов с заданными свойствами, включая нанотехнологии.

Вопросы исследования загрязнения водоемов, являющиеся классической проблемой, с той или иной полнотой рассматривались многими авторами. Из-за сложности анализа множества факторов, влияющих на оценку условий и возможных последствий загрязнения водоемов с учетом фактора времени, стали широко применять методы

математического моделирования. Значительные успехи в изучении пространственно-временных закономерностей процесса загрязнения были достигнуты благодаря использованию численно-аналитических методов решения начально-краевых задач для дифференциальных уравнений в частных производных, как основных, так и смешанного типа.

Современные численные методы в совокупности с возможностью их алгоритмизации при использовании персональных компьютеров превращаются в рабочий инструмент для проведения вычислительного эксперимента. В условиях, когда масштабы возможных техногенных нарушений, связанных с загрязнением водных бассейнов, исключают натурные испытания, а лабораторные испытания в силу ограниченных возможностей обеспечения подобию дают лишь неполную информацию, математическое моделирование и вычислительный эксперимент являются одним из основных способов исследования процессов переноса вещества в водной среде.

С учетом современного состояния аппаратных и программных средств представляется целесообразным использование специализированных пакетов для математических вычислений, что позволяет экономить время, необходимое на разработку и отладку программы, в пользу анализа физического содержания поставленной задачи.

Математические пакеты являются составной частью САЕ-систем (Computer Aided Engineering). Спектр задач, решаемых подобными системами, очень широк:

- проведение математических исследований, требующих вычислений и аналитических выкладок;
- разработка и анализ алгоритмов;
- математическое моделирование и компьютерный эксперимент;
- анализ и обработка данных;
- визуализация, научная и инженерная графика;
- разработка графических и расчетных приложений.

Однако поскольку САЕ-системы содержат операторы для базовых вычислений, то почти все алгоритмы, отсутствующие в стандартных функциях, можно реализовать, написав собственную программу.

На компьютерах под управлением ОС Windows используются такие проприетарные программные продукты, как MathCad, Matlab, Maple, Mathematica.

Среди свободно распространяемых наиболее популярными являются Scilab, Maxima, FreeMat, Octave.

Для выполнения расчетов при математическом моделировании процессов переноса авторами использовался пакет MathCad 14 [1–2]. Выбор среды обусловлен следующими преимуществами: математические выражения записываются в общепринятой нотации; встроенный математический аппарат позволяет находить решения линейных и нелинейных алгебраических уравнений и систем, задачи Коши и краевой задачи для дифференциальных уравнений, дифференциальных уравнений в частных производных; имеется возможность графического представления информации.

Рассмотрим моделирование с использованием пакета MathCad. В основе моделирования экологических водных систем лежат законы массопереноса вещества: диффузионный, конвекционный и др. Диффузионный механизм распространения ЗВ применяется при описании процессов в водоемах со стоячей или слаботекущей водой – водохранилищах, прудах, озерах, каналах, трубопроводах и т.п. В основе построения математической модели преимущественно диффузионного переноса вещества лежит уравнение диффузии (уравнение теплопроводности). Нами проводились вычислительные эксперименты для различных технологических ситуаций. Были исследованы одномерные, двумерные и трехмерные математические модели.

Для одномерной диффузии с наличием точечного источника распространения примеси рассматривались случаи источника с известным ограниченным количеством примеси и постоянно действующего источника в некоторой точке водоема. Пример моделирования второго случая в системе Mathcad 14 представлен на рис. 1. Здесь использована встроенная функция CreateMesh для построения трехмерного графика поверхности, заданной в аналитическом виде. CreateMesh создает сетку на поверхности, определенной функцией концентрации примеси $C(x, t)$. В качестве аргументов указывается диапазон изменения переменных, можно задавать размеры сетки переменных. Функция CreateMesh по умолчанию создает сетку на поверхности с диапазоном изменения переменных от -5 до 5 и с сеткой 20×20 точек.

Аналогично проводились вычислительные эксперименты для возможных случаев двумерной диффузии, когда рассматривался источник примеси с плотностью $p(x, t)$ на участке $[-a, a]$ плоского водоема, и трехмерного случая – сферической диффузии в глубине водоема.

$$C(x, 0) = 0 \quad F(x, t) := \frac{\partial}{\partial x} C(x, t) \quad F(0, t) = P(t) \quad (10)$$

$P(t)$ - плотность диффузионного потока [кг/(м²*с)].

Исходные данные для данного типа задачи:

$P(t) := 0.1 \quad D := 30$

$$C(x, t) := \sqrt{\frac{D}{\pi}} \int_0^t \left(\frac{P(\tau)}{\sqrt{t-\tau}} \right) \cdot e^{-\frac{x^2}{4D(t-\tau)}} d\tau$$

- решение ДУ (1) при граничных условиях (10).

$Cxt := \text{CreateMesh}(C, x0, x1, t0, t1)$

$x0 := 0.1 \quad x1 := 300 \quad t0 := 0.1 \quad t1 := 20$ - границы аргументов, внутри которых нужно построить поверхность распределения концентрации.

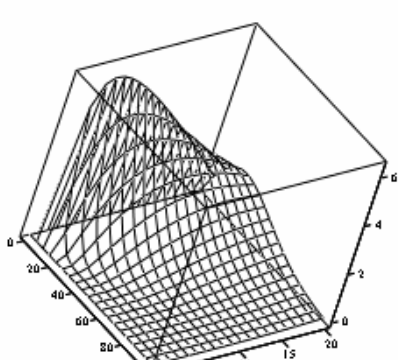


Рис. 1. Окно системы MathCAD с расчетом концентрации примеси при одномерной диффузии из постоянно действующего точечного источника

Анализ работ, посвященных математическому моделированию процессов массопереноса в водных средах, показывает, что чаще всего диффузионными процессами пренебрегают ввиду того, что они малы по сравнению с конвекционными. Нами систематизированы известные математические модели применительно к различным эколого-технологическим ситуациям и проанализированы ситуации, при которых диффузия загрязняющих веществ может оказать серьезное влияние на экологическую обстановку региона; предложены методы прогнозирования подобных явлений.

Фрагмент математического моделирования процессов распространения вещества в движущейся среде представлен на рис. 2. Имеющаяся в системе MathCAD панель с набором инструментов программирования позволяет легко составлять вычислительные алгоритмы и экспериментировать с различными исходными данными, моделируя возможные реальные техногенные и технологические ситуации.

Возможности специализированных математических пакетов возрастают от версии к версии, увеличивается функциональность, и соответственно расширяется круг решаемых задач. Интерфейс становится более удобным при использовании для математических расчетов, обработки, моделирования и визуализации данных. Несмотря на то что пакет Mathcad в основном ориентирован на пользователей-непрограммистов, он также применяется в сложных проектах для визуализации результатов математического моделирования с помощью распределённых вычислений и традиционных языков программирования. Программа Mathcad часто используется в крупных инженерных проектах, где большое значение имеют трассируемость и соответствие стандартам.

$$\begin{aligned}
 &U01 := \frac{1}{1.0001} \quad U01 = 1 \quad U0 := 0.1 \quad L := 1.1 \\
 &U'0 := \frac{-(U0 - U01)}{0.1} \quad U'0 = 8.999 \quad U'0 := -0.001 \quad D := .00010 \quad V0 := 0.00010 \\
 &U1 := U0 + \left(e^{\frac{V0}{D} \cdot L} - 1 \right) \cdot \frac{U'0 \cdot D}{V0} \quad U'0 \leftarrow \frac{(U1 - U0)}{L} \quad U2 := U1 + \left(e^{\frac{V0}{D} \cdot L} - 1 \right) \cdot \frac{U'0 \cdot D}{V0} \quad U2 = 0.096 \\
 &UL1 := \left| \begin{array}{l} u_0 \leftarrow U2 \\ \text{for } i \in 1..5 \\ \quad U'0 \leftarrow \frac{(u_{i-1} - U0)}{L \cdot 2} \\ \quad U0 \leftarrow U1 \\ \quad U1 \leftarrow u_{i-1} \\ \quad u_i \leftarrow U1 + \left(e^{\frac{V0}{D} \cdot L} - 1 \right) \cdot \frac{U'0 \cdot D}{V0} \end{array} \right. \\
 &UP1 := \left| \begin{array}{l} \text{for } i \in 1..9 \\ \quad U'0 \leftarrow \frac{(U2 - U0)}{L \cdot 2} \\ \quad U0 \leftarrow U1 \\ \quad U1 \leftarrow U2 \\ \quad U2 \leftarrow U1 + \left(e^{\frac{V0}{D} \cdot L} - 1 \right) \cdot \frac{U'0 \cdot D}{V0} \\ \quad U'0 \\ \\ \quad UP1 = -1.822 \times 10^{-3} \\ \\ \quad i := 0..5 \end{array} \right.
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Окно системы MathCAD с расчетом концентрации примеси по конвективно-диффузионному механизму

В настоящее время применяются версии программы – PTC MathCAD v15 M030 и Mathcad Prime 3.0, в которые добавлены функции для расчетов по планированию экспериментов, позволяющие найти критические факторы и оптимальные условия при испытаниях сложных процессов. Содержатся шаблоны для проведения нескольких экспериментов, при наличии нескольких уровней эксперимента (режимов тестирования) и различных условий.

Интеграция с базой данных KnovelMath позволяет получить быстрый доступ к базе по инженерным и техническим стандартам, а интеграция с программным обеспечением Cognosoria (компания Bodie Technology) – использовать наработанные процессы для оценки данных натуральных экспериментов и результатов расчетов.

Возможности специализированных математических пакетов позволяют объединять алгоритмы моделирования процессов распространения примесей при различных техногенных и технологических ситуациях в единую информационную систему для проведения вычислительных экспериментов и визуализации результатов при решении прикладных задач.

Список литературы

1. Кузина, В.В. Математическое моделирование в задачах мониторинга состояния водной среды: моногр. / В.В. Кузина, А.Н. Кошев. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 144 с.
2. Кузина, В.В. Математические модели как элемент информационной системы водной среды региона / В.В. Кузина, А.Н. Кошев // Математические методы в технике и технологиях: сб. тр. XXV Междунар. науч. конф. ММТТ-25. – Т. 2. – Волгоград: ВГТУ, 2012. – С. 116–118.

References

1. Kuzina, V.V. Mathematical modeling in problems of monitoring of a condition of the water environment: monogr. / V.V. Kuzina, A.N. Koshev. – Penza: PGUAS, 2014. – 144 p.
2. Kuzina, V.V. Mathematical models as an element of information system of the water environment of the region / V.V. Kuzina, A.N. Koshev // Mathematical methods in equipment and technologies: collection of works XXIII of the international scientific conference. – Vol. 2. – Volgograd: VGTU, 2012. – P. 116–118.

УДК 537.8

Университет технологии и естествознания
в Быдгоше

Польша, 85-225, г. Быдгош,
ул. Кордецкого, д.20,
тел./факс: +48 52 374 94 44

Шалапко Юрий Иванович,
доктор технических наук, профессор
кафедры «Организация и менеджмент»
E-mail: shalapko@yahoo.com

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

Камбург Владимир Григорьевич,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные системы»
E-mail: kamburg@rambler.ru

Агафонкина Наталья Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством и
технология строительного производства»
E-mail: aaa-nata@mail.ru

University of Technology and Life Sciences in
Bydgoszcz

Poland, 85-225, Bydgoszcz,
ul. Kordeckiego 20
Phone: +48 52 374 94 44

Chalapko Yuri Ivanovich,
doctor of technical Sciences, Professor
of the department «Organization
and Management»
E-mail: shalapko@yahoo.com

Penza State University of Architecture
and Construction

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

Camburg Vladimir Grigoryevich,
Doctor of Sciences, Professor
of the department «Information-computing
systems»
E-mail: kamburg@rambler.ru

Agafonkina Natalya Viktorovna
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Quality management
and construction technologies»
E-mail: aaa-nata@mail.ru

ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ ТРЕНИЯ В МЕХАНИКЕ КОНТАКТНОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

Ю.И. Шалапко, В.Г. Камбург, Н.В. Агафонкина

Проведено физико-математическое моделирование составляющих силы трения в механике контактного взаимодействия, и предложена методика их оценки в зависимости от нормальной нагрузки в контакте высшей кинематической пары.

Ключевые слова: трибологические системы, строительные конструкции и механизмы, физико-математическое моделирование, силы трения, оценка составляющих, механика контактного взаимодействия

PHYSICAL AND MATHEMATICAL MODELING OF FRICTION COMPONENTS IN CONTACT MECHANICS

Y.I. Shalapko, V.G. Kamburg, N.V. Agafonkina

Conducted physical and mathematical modeling of the components of the friction force in mechanics of contact interaction are given. Assessment methods depending on the normal load in the contact of higher kinematic pairs are suggested.

Keywords: tribological systems, building structures and mechanisms, physical and mathematical modeling, friction force, evaluation components, mechanical contact interaction

Описание и изучение закономерностей в узлах трения является одной из актуальных задач трибологических систем, составляющих существенную часть строительных конструкций и механизмов. Сопротивления движению в контактном узле образуются

из явления трения, которое в зависимости от рода движения может принимать три формы:

- 1) трение скольжения – относительное движение скольжением;
- 2) трение качения – относительное движение качением;
- 3) трение кручения – движение относительно кручения.

Две последние формы трения в своём чистом виде редко выступают в действительности. Все эти три формы трения обычно выступают вместе. Например, при деформировании тел в пределах контакта в чистом качении происходит микроскольжение, напоминающее трение скольжения или кручения.

Известно, что до 90 % силы трения провоцирует прирост внутренней энергии (нагрев) трибологической системы. Остальная часть механической энергии идет на износ.

Разнородность и сложность явлений трения значительно затрудняют построение модели, которая определяет меру сопротивления движению с удовлетворительной точностью.

Учитывая основные теории трения [1,2], силу трения скольжения трибологической системы можно выразить как сумму нескольких составляющих:

$$F_T = F_{T1} + F_{T2} + F_{T3} + F_{T4},$$

где F_{T1} – усилие, идущее на пластическую деформацию более мягкого тела (обозначение 1 на рис. 1); F_{T2} – усилие, идущее на срыв адгезионных соединений (2, 4 на рис. 1); F_{T3}, F_{T4} – усилие, идущее на преодоление в гидродинамическом суммарном слое (3, 5 на рис. 1);

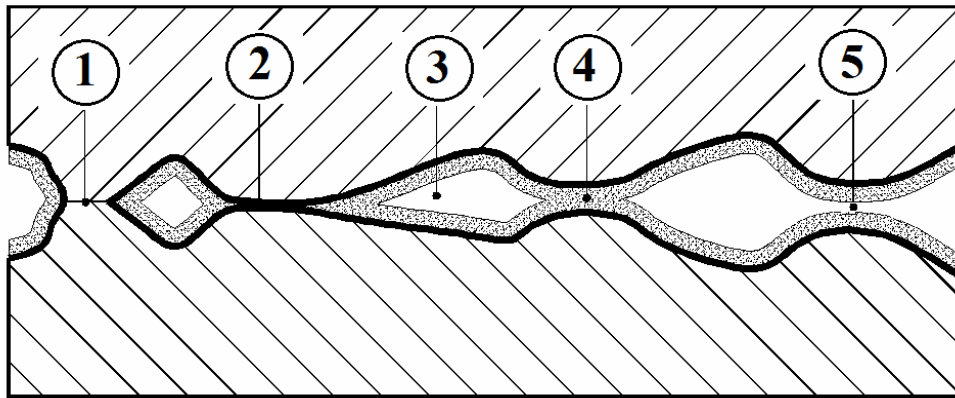


Рис. 1. Виды контактного взаимодействия при трении:

- 1 – сухое трение; 2 – граничное со схватыванием; 3 – жидкостное гидродинамическое;
- 4 – граничное с непрочными слоям; 5 – жидкостное упругодинамическое

Составляющие жидкого трения (F_{T3} и F_{T4}) в случае смешанного трения обычно значительно меньше, чем F_{T1} и F_{T2} , поэтому остановимся на их определении.

В соответствии с общепринятой в настоящее время молекулярно-механической теорией трения, сила трения T между поверхностями состоит из двух основных частей:

- 1) адгезионной – T_α ;
- 2) деформационной – T_δ .

$$T = T_\alpha + T_\delta.$$

Признано, что деформационная сила трения пропорциональна нормальной силе кинематического узла F :

$$T_\delta = f_\delta F.$$

Адгезионная часть трения, в свою очередь, состоит также из двух составляющих: постоянной части T_0 и части, зависящей от нормальной нагрузки:

$$T_\alpha = T_0 + \beta F.$$

В итоге имеем зависимость

$$T = T_0 + \beta F + f_s F, \quad (1)$$

В экспериментальной практике обычно не выделяют составляющие части, а определяют силу трения через общий коэффициент трения f :

$$T = fF. \quad (2)$$

Подставив (2) в (1), получим выражение

$$fF = T_0 + \beta F + f_s F, \quad (3)$$

или

$$f = \frac{\tau_0}{F} + \beta + f_s. \quad (4)$$

Таким образом, для заданной пары трения T по (3) модели трения выражаются через нормальную нагрузку F с помощью трех параметров: T_0, β, f_s . В ряде случаев при расчетах и испытаниях используется не сила трения T и нормальная сила F , а соответствующее напряжение

$$\tau = \frac{T}{A} \quad (5)$$

и нормальные напряжения или контактные давления σ :

$$\sigma = \frac{F}{A}, \quad (6)$$

где A – номинальная площадь контакта.

Разделив выражение (3) на номинальную площадь, получим:

$$\tau = \tau_0 + \beta\sigma + f_s\sigma, \quad (7)$$

где

$$\tau_0 = \frac{T_0}{A}. \quad (8)$$

Наконец, разделив (7) на σ , для коэффициента трения получим выражение

$$f = \frac{\tau_0}{\sigma} + \beta + f_s. \quad (9)$$

В случае, если предельное давление вызывает пластические деформации, то можно записать:

$$f = \frac{\tau_0}{HB} + \beta + f_s, \quad (10)$$

при этом

$$\frac{\tau_0}{HB} = f_0 = \text{const}$$

и можно полагать, что общий коэффициент трения состоит из трех постоянных слагаемых:

$$f = f_0 + \beta + f_s. \quad (11)$$

Одной из важных и сложных задач в трибологии является экспериментальное определение параметров T_0, f_s или параметров τ_0, β, f_s .

Определение всех параметров модели трения, включая адгезионные составляющие, прежде всего необходимо для познания базовых законов трения с целью их дальнейшего практического использования. Заметим, что в технологии покрытий основной характеристикой является величина предельного нормального напряжения отрыва покрытия – это нормальная составляющая адгезии. Очевидно, между нормальной и касательной составляющими адгезии должна существовать зависимость.

Проведенные испытания при разных нормальных нагрузках F демонстрируют убывающий гиперболический характер соответствующих им сил трения T (рис. 2). При анализе этой закономерности был сделан вывод о том, что основная причина убывающего характера зависимости состоит во влиянии некоторых физико-механических процессов, выражающемся в скрытой форме математического эффекта влияния бесконечного убывания в знаменателе на зависимость коэффициента трения от давления [3].

Если коэффициент, как отношение двух величин, в числителе имеет два слагаемых: одно из которых – постоянная величина, а другое – зависит от давления, так же, как и знаменатель:

$$f = \frac{T_0 + (\beta + f_s) F}{F}, \quad (12)$$

то при уменьшении знаменателя он растет и стремится к бесконечности:

$$f = \frac{T_0}{F} \Big|_{N \rightarrow 0} + f_s \Rightarrow \infty. \quad (13)$$

Этим объясняется общеизвестный в трибологии факт убывания зависимости коэффициента трения от давления.

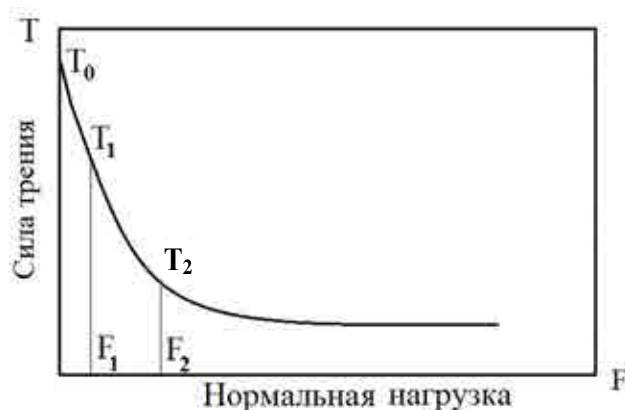


Рис. 2. Классическая зависимость коэффициента трения от нормального давления

Указанный эффект касается любых коэффициентов, если в числителе есть постоянная составляющая, а знаменатель может изменяться от номинальных значений до нуля.

Всякий раз, когда возникает необходимость объяснить убывающий характер зависимостей с ростом аргумента (или возрастание со стремлением аргумента к нулю), в качестве первой причины можно рассматривать бесконечное убывание знаменателя, что приводит к сложностям определения истинной зависимости сил трения от давления.

Общая зависимость (4) при достаточно малых N имеет математическую особенность – коэффициент трения стремится к бесконечности, а сама зависимость носит гиперболический характер.

Для того чтобы исключить влияние бесконечного убывания знаменателя от коэффициента трения, перейдем к рассмотрению зависимости самих сил трения от нормальной нагрузки в формуле (1). Эту зависимость можно записать:

$$T = T_0 + (\beta + f_s) F, \quad (14)$$

или

$$T = T_0 + f_1 F, \quad (15)$$

где

$$f_1 = \beta + f_\delta. \quad (16)$$

Адгезионную составляющую силы трения T_0 можно определить двумя способами: графическим и приближенно-аналитическим. Графическим методом достаточно построить график функции $T = fF$ в некотором диапазоне значений нагрузки F и продолжить его до значения $F = 0$. Тогда на оси T получим величину T_0 .

При аналитическом методе на экспериментальной зависимости (15) возьмем две характерные точки:

$$(T_1, F_1); (T_2, F_2), \quad (17)$$

для каждой запишем уравнение (15); в результате получим систему из двух уравнений относительно параметров модели T_0, f_1 :

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= T_0 + f_1 F_1 \\ T_2 &= T_0 + f_1 F_2 \end{aligned} \right\} \quad (18)$$

Решив эту систему, получим:

$$f_1 = \frac{T_2 - T_1}{F_2 - F_1}, \quad (19)$$

$$T_0 = T_1 - f_1 F. \quad (20)$$

Заметим, что коэффициент трения f_1 включает как адгезионную, так и деформационную составляющую: $f_1 = f_\alpha + f_\delta$. Разделение на эти составляющие достаточно сложная задача. Обычно эта задача решается путем максимально возможного устранения деформационной составляющей. В описанном здесь способе отделение f_α от f_δ вообще не производится. Определяется только постоянная составляющая силы адгезии – величина T_0 .

В качестве примера практического применения предложенного подхода рассмотрим стандартную ситуацию в решении одной из трибологических задач.

Пусть из эксперимента известна зависимость коэффициента трения f от нормальной нагрузки в форме таблицы или графика (см. рис. 2). Эту зависимость можно представить как в виде графика с убывающей кривой в координатах (f, F) , так и в виде монотонного графика, в первом приближении в виде прямой в координатах (T, F) , пересекающей ось T в точке $T = T_0$.

Представим адгезионную модель в виде функции:

$$\tau = \tau_0 + \beta \sigma + f_\delta \sigma, \quad (21)$$

$$\tau = \tau_0 + f_1 \sigma. \quad (22)$$

Задача здесь ставится так: имея данные для построения функции $T = fF$, определить параметры τ_0 и f_1 модели трения (22). Некоторая сложность решения задачи здесь состоит в том, что в случае испытания по схеме “цилиндр – плоскость”, “шар – плоскость” размеры площадки контакта изменяются с изменением нагрузки. Поэтому получить соотношение в виде (22) из соотношения (15) делением на площадь контакта не представляется возможным. Действительно, разделив левую и правую части зависимости (15) на площадь контакта, получим:

$$\frac{T}{A(F)} = \frac{T_0}{A(F)} + f_1 \frac{F}{A(F)} \quad (23)$$

или

$$\tau(F) = \tau_0(F) + f_1 \sigma(F). \quad (24)$$

Если адгезионная часть силы трения величина постоянная ($T_0 = \text{const}$), то сдвиговые касательные усилия или адгезионная часть напряжений трения зависят от нормальной нагрузки, т.е. не являются постоянными: $\tau_0(F) \neq \text{const}$.

Определим адгезионную составляющую силы трения:

1) на графике функции $f = f(F)$ выберем две точки:

$$f_1 = 0,24; F_1 = 50 \text{ N} \text{ и } f_2 = 0,14; F_2 = 200 \text{ N};$$

2) в выбранных точках определим значения сил трения:

$$T_1 = f_1 F_1 = 0,24 \cdot 50 = 12 \text{ N},$$

$$T_2 = f_2 F_2 = 0,14 \cdot 200 = 28 \text{ N};$$

3) по формулам (19), (20) найдем:

$$f_1 = \frac{T_2 - T_1}{F_2 - F_1} = \frac{28 - 12}{200 - 50} = 0,107,$$

$$T_0 = T_1 - f_1 F_1 = 12 - 0,107 \cdot 50 = 6,65 \text{ N}.$$

Аналогичным образом получим значения всех параметров модели трения для других вариантов условий. Моделируя трение по формуле (23), $T = T_0 + f_1 F$ можно преобразовать к виду:

$\frac{T}{F} = \frac{T_0}{F} + f_1$ или $f = f_\alpha + f_1$. Так как величина T_0 – адгезионная составляющая силы трения и для данной пары трения постоянная, то величина коэффициента трения, зависящая от нагрузки, также будет иметь гиперболическую зависимость. Например: для первого варианта условий при $F = F_1 = 50 \text{ N}$, $T_0 = 7,15 \text{ N}$

$$f_{\alpha 1} = \frac{7,15}{50} = 0,143.$$

Этот коэффициент можно определить по зависимости $f_\alpha = f - f_1$ или при $F_1 = 50 \text{ N}$: $f_\alpha = 0,24 - 0,107 = 0,133 \cong 0,14$.

Степень совпадения результатов определения параметров модели различными способами указывает на достаточное соответствие между реальной и полученной адгезионными моделями. На адекватность модели указывает также тот факт, что модель в форме

$$f = \frac{T}{F} = \frac{T_0 + f_1 F}{F},$$

график которой качественно описывается гиперболически возрастающей при $N \rightarrow 0$ линией, преобразуется в модель вида: $fF = T_0 + f_1 F$, $T = T_0 + f_1 F$, график которой – прямая линия, пересекающая ось T в точке $T = T_0$.

Выводы

На основе результатов физико-математического моделирования составляющих силы трения в механике контактного взаимодействия предложена обоснованная методика их оценки в зависимости от нормальной нагрузки в контакте высшей кинематической пары и приведён пример её практического применения.

Список литературы

1. Крагельский, И.В. Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение, 1977.
2. Fleischer, G. Verschleiss und Zuverlässigkeit / G. Fleischer, H. Gröger, H. Thum. – Berlin : VDI Verlag Technik, 1980.
3. Кузьменко, А.Г. Прикладная теория методов испытаний на износ / А.Г. Кузьменко. – Хмельницкий: ХНУ, 2008. – 579 с.

References

1. Kragelskii, I.V. Calculation on friction and wear / I.V. Kragelskii, M.S. Dobychin, V.S. Kambalov. – M: Machine-Building, 1977.
2. Fleischer, G. Verschleiss und Zuverlässigkeit / G. Fleischer, H. Gröger, H. Thum. – Berlin : VDI Verlag Technik, 1980.
3. Kuzmenko, A.G. Applied theory of test methods for wear / A.G. Kuzmenko. – Khmel'nitskiy: XNU, 2008. – 579 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»

Исаева Антонина Михайловна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»

Петрунин Алексей Алексеевич,
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»

Isaeva Antonina Mikchailovna,
Associate Professor of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

Petrinin Aleksey Alekseevith,
Postgraduate of the department «Water
supply, sewerage and hydraulic engineering»

КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОЦЕССА ФЛОТАЦИИ ИЗ СТОЧНЫХ ВОД БЕЗИНЕРЦИОННЫХ ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ

С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, А.М. Исаева, А.А. Петрунин

Приведено теоретическое описание кинетических закономерностей процесса флотации безинерционных дисперсных частиц. Показано, что повышение эффективности процесса флотационной очистки сточных вод может быть достигнуто за счет использования тонкодисперсных водовоздушных смесей с высоким газонаполнением.

Ключевые слова: процесс флотации, дисперсная частица, пузырек воздуха, граница раздела фаз, степень гидрофобности

KINETIC REGULARITIES OF RADIANT DISPERSED PARTICLES FLOTATION PROCESS FROM SEWAGE

S.Yu. Andreev, I.A.Garkina, A.M. Isaeva, A.A.Petrinin

Theoretical description of the kinetics of the flotation process of radiant dispersed particles is given. It is shown that the efficiency of the flotation process of wastewater can be achieved by utilizing fine-water mixtures with high gas filling.

Keywords: flotation process, particle size distribution, air bubble, phase division border, degree of hydrophobicity

Флотация является сложным физико-химическим процессом, который нашел широкое применение в технологиях очистки сточных вод. Извлечение тонкодисперсных частиц, загрязняющих сточные воды, в процессе флотации происходит в результате их прилипания к пузырькам воздуха, образующимся в сточных водах или введенных в них. Процесс извлечения пузырьками воздуха нерастворимых дисперсных частиц, в том числе и коллоидных, принято называть пенной флотацией. Процесс изъятия ионов и молекул растворенных веществ, происходящий за счет адсорбции их на поверхности «жидкость–газ», называется «пенной сепарацией» [1].

Прикрепившиеся к пузырькам воздуха частицы всплывают на поверхность жидкости, образуя пенный слой с более высокой концентрацией частиц, чем в исходной жидкости.

Процессы молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела «вода–воздух» обуславливаются избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания.

Прилипание частицы, находящейся в воде, к поверхности воздушного пузырька возможно только тогда, когда имеет место несмачивание или плохое смачивание частицы водой. Степень смачивания водой твердой поверхности принято количественно оценивать величиной краевого угла смачивания θ , образующегося при контакте поверхности трех фаз: твердое тело, жидкость, газ.

По отношению к воде твердые тела могут быть гидрофобными, гидрофильными или занимать промежуточное положение. К первым относятся вещества, имеющие аполярное строение молекул и в силу этого не способные гидратироваться. Такие вещества обладают наименьшей смачиваемостью и легко флотируются. Чем меньше гидратирована частица, тем легче разрывается гидратная оболочка при приближении частицы к пузырьку воздуха, тем выше вероятность образования флотокомплекса «флотируемая частица–пузырек воздуха».

В элементарном акте флотации по механизму столкновения, под которым понимается взаимодействие единичной частицы с единичным пузырьком, принято выделять две основные стадии процесса: сближения поверхности частицы с пузырьком и закрепления частицы на пузырьке [1, 2].

Вероятность закрепления частицы определяется вероятностями прилипания и сохранения частицы на пузырьке.

В результате действия силы тяжести либо инерционных сил может произойти отрыв частицы от поверхности пузырька. Эти силы пропорциональны кубу линейных размеров частицы (объему), т.е. достаточно велики для крупных частиц и малы для мелких.

Для сравнения можно указать, что силы отрыва при размере частиц 100 мкм в миллион раз больше, чем для частиц размером 1 мкм. По этой причине закрепление крупных частиц на пузырьке возможно лишь с помощью формирующегося в месте контакта трехфазного периметра смачивания, который может сопротивляться большим отрывным силам.

Закономерности такой контактной флотации описаны в литературе по флотационному обогащению полезных ископаемых [3].

Протекание элементарного акта флотации по механизму прямого столкновения флотируемой частицы с пузырьком воздуха характерно лишь для крупных частиц, для которых существенную роль играют силы инерции.

Для крупных частиц стадия сближения с пузырьком воздуха облегчена их инерционностью, и кинетика этого процесса может остаться нерассмотренной.

Игнорирование кинетики стадии сближения для мелких частиц (менее 10 мкм), являющихся практически безинерционными, не позволяет получить корректные результаты.

Таким образом, исследование кинетики сближения частицы с пузырьком воздуха в теории флотационной очистки мелких безинерционных частиц имеет решающее значение.

Необходимость изучения кинетики флотации, обоснованная более глубоким пониманием явлений, лежащих в ее основе, впервые была отмечена академиком А.Н. Фрумкиным [6]. При этом под кинетикой флотационного процесса следует понимать рассмотрение во времени всех элементарных актов флотации и конечных ее показателей. Особый интерес представляет процесс осаждения частиц на поверхности единичного пузырька, его эффективность, а также скорость флотации коллективом пузырьков. Этим вопросам уделялось значительное внимание уже на ранних этапах развития кинетической теории флотации.

Для вывода уравнения скорости флотации авторами [4] был использован химический закон действия масс

$$\frac{\partial N}{\partial t} = -KN^a C^b, \quad (1)$$

где N – счетная концентрация флотируемых частиц, шт/м³; C – счетная концентрация воздушных пузырьков, шт/м³; a и b – показатели степени; K – константа скорости процесса флотации.

Было предложено при оценке физико-химической кинетики процесса флотации не учитывать концентрацию воздушных пузырьков, так как она остается постоянной величиной. Полученное уравнение скорости флотации имело вид

$$\frac{dN}{dt} = -KN^a. \quad (2)$$

Путем преобразования формулы (2) и ее интегрирования для случая $a=1$ была получена формула, описывающая процесс флотации монодисперсных частиц коллективом пузырьков газа:

$$N_T = N_0 e^{-KT}, \quad (3)$$

где N_0 и N_T – счетные концентрации флотируемых частиц в начальный момент времени и через T секунд.

Если вместо значений N_0 и N_T использовать понятие коэффициента извлечения частиц

$$\alpha = 1 - \frac{N_T}{N_0},$$

то формула (3) примет вид

$$\alpha = 1 - e^{-KT}. \quad (4)$$

Из уравнения (4) следует, что константа скорости процесса флотации имеет размерность величины, обратную времени, с⁻¹:

$$K = \frac{1}{\tau}, \quad (5)$$

где τ – характерное время очистки сточных вод, в течение которого концентрация флотируемых частиц убывает в « e » раз.

Таким образом, зная продолжительность процесса флотации T , начальную и конечную счетную концентрации флотируемых частиц N_0 ; N_T , в соответствии с формулой (5) можно определить

$$K = \frac{\ln \frac{N_0}{N_T}}{T}. \quad (6)$$

В качестве физической интерпретации констант скорости процесса флотации также было предложено рассматривать коэффициент K как произведение вероятности столкновения частиц с пузырьком и вероятности их закрепления на поверхности пузырька.

В работе [4] приводится следующее выражение для определения константы скорости извлечения взвешенных частиц в процессе флотации монодисперсных систем:

$$K = \frac{3qE}{4R_n}, \quad (7)$$

где q – объем газа, поступающего в единицу времени через единицу площади поперечного сечения флотационного объема, м³/м²·с; R_n – радиус пузырька воздуха, м; E – коэффициент эффективности захвата флотируемой частицы пузырьком воздуха.

В связи с тем, что распределение пузырьков по крупности в реальных полидисперсных процессах флотации близко к нормальному, в качестве радиуса пузырьков принимают его среднестатистическое значение.

Параметр E является сложнейшей функцией, зависящей от многих факторов. Известно, что на ход флотационного процесса влияют такие факторы, как род флотируемого материала, размер частиц и пузырьков, электрокинетический потенциал пузырьков воздуха и флотируемых частиц, наличие реагентов и т.д.

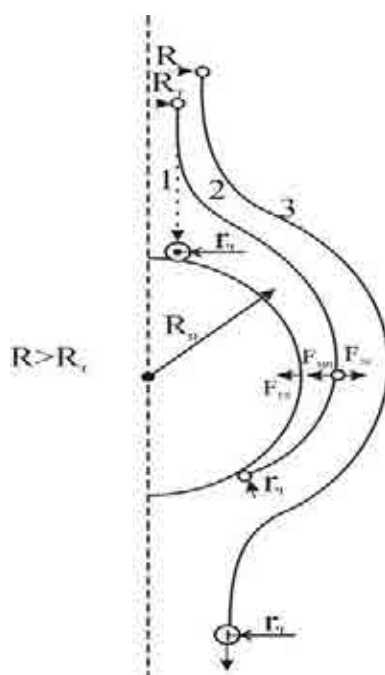
Первая попытка определить коэффициент эффективности захвата E была сделана в работе [2] с опорой на математический аппарат, разработанный в механике аэрозолей:

$$E = \frac{r_t^2}{R_n^2}, \quad (8)$$

где r_t – максимальный радиус трубки тока, набегающего на пузырек потока жидкости, все частицы из которой задерживаются на поверхности пузырька, м;

Схематично процесс сближения частицы с пузырьком воздуха изображен на рисунке.

Процессы сближения инерционных (крупных) и безинерционных частиц с поверхностью пузырька имеют качественные различия.



Траектории сближения флотируемой частицы с пузырьком газа:

- 1 – траектория инерционной (крупной) частицы; 2 – траектория безинерционной частицы;
3 – траектория безинерционной частицы, находящейся за пределами трубки тока

При приближении к поверхности пузырька инерционной частицы ее траектория почти не изменяется, так как силы инерции компенсируют гидродинамическое воздействие потока жидкости, изменяющего свою траекторию вблизи поверхности пузырька газа. Частица движется прямолинейно вплоть до столкновения с поверхностью пузырька воздуха, которое произойдет, если прицельное расстояние δ (расстояние между проекциями центра пузырька и центра частицы) меньше суммы радиуса пузырька и радиуса частицы.

$$\delta < R_n + r_q. \quad (9)$$

Безинерционные частицы вблизи поверхности пузырька ведут себя иначе. При обтекании поверхности пузырька жидкостью линии тока искривляются, увлекая за собой частицу. Чем меньше размер частицы и разница ее плотности с веществом среды, тем меньше действующие силы инерции и больше приближение ее траектории к траектории линии тока жидкости.

Возможность инерционного осаждения частиц на пузырьке в соответствии с рекомендациями [5] определяется безразмерным параметром

$$\lambda = \frac{l}{R_n}, \quad (10)$$

где l – инерционный пробег частицы, м;

$$l = \frac{2Vr_n^2 \Delta\rho}{9\eta}, \quad (11)$$

где V – скорость движения частицы относительно пузырька, м/с; $\Delta\rho$ – разность плотностей среды и частицы, кг/м³; η – динамический коэффициент вязкости среды, Па·с.

Инерционное осаждение возможно, если $\lambda \leq \lambda_{кр}$. В работе [2] для критического значения параметра $\lambda_{кр}$ получено число

$$\lambda_{кр} = \frac{1}{24}.$$

Подставив это значение в формулы (10) и (11), можно получить выражение для критического радиуса частицы, ниже которого силы инерции не обеспечивают сближение частицы с пузырьком:

$$\lambda_{кр} = \frac{2Vr_n^2 \Delta\rho}{9\eta r_n} = \frac{1}{24} \rightarrow r_n^{кр} = \sqrt{\frac{9\eta r_n}{48V \Delta\rho}}. \quad (12)$$

Приняв скорость осаждения частицы равной скорости всплывания пузырька воздуха относительно жидкости, имеем в соответствии с законом Стокса

$$V = \frac{2gr_n^2(\rho_{ж} - \rho_r)}{9\eta} \approx \frac{2gr_n^2}{9\nu}, \quad (13)$$

где $\rho_{ж}$ – плотность жидкости; ρ_r – плотность газа внутри пузырька, кг/м³ ($\rho_r \ll \rho_{ж}$); ν – кинематический коэффициент вязкости жидкости, м²/с; g – ускорение свободного падения, $g = 9,8$ м/с².

Подставляя выражение (13) в (12), имеем

$$r_n^{кр} = \sqrt{\frac{9\eta r_n}{48\Delta\rho} \frac{9\nu}{2gr_n^2}} = \sqrt{\frac{27}{32} \frac{\eta\nu}{gr_n \Delta\rho}} = \sqrt{\frac{27}{32} \frac{\nu^2}{2r_n \Delta\rho} \rho_{ж}}. \quad (14)$$

При радиусе флолируемой частицы, превышающем критический радиус $r_n > r_n^{кр}$, имеет место ее инерционное осаждение на поверхности пузырька.

Коэффициент эффективности захвата в элементарном акте инерционного столкновения частицы с пузырьком авторы [4] рекомендуют оценивать по формуле

$$E = \frac{\lambda^2}{(\lambda + 0,2)^2}. \quad (15)$$

Если значение E в формуле (15) близко к единице, то можно считать, что происходит захват крупных частиц пузырьками по инерционному механизму. Для малых частиц $r_n < r_n^{кр}$ инерционное осаждение невозможно.

В этом случае в соответствии с рекомендациями [2] E определяется для стоксовского режима всплывания пузырьков воздуха $R_n = \frac{2r_n V}{\nu} < 1$ по формуле

$$E = \frac{3}{2} \left(\frac{r_c}{R_n} \right)^2. \quad (16)$$

По некоторым данным, формула (16) остается справедливой до $Re < 20$ [5].

Для режима всплывания пузырьков воздуха, отличного от стоксовского ($Re > 1$), коэффициент E определяется по формуле

$$E = \frac{3r_c}{R_n}. \quad (17)$$

Проведенный теоретический анализ кинетических закономерностей элементарного акта флотации позволяет сделать следующие выводы:

- эффективность флотационного удаления мелкодисперсных частиц зависит от степени дисперсности водовоздушной смеси и величины ее газонаполнения;
- разработка новых технологий генерирования тонкодисперсных водовоздушных смесей с повышенным газонаполнением позволит существенно повысить эффективность флотационной очистки сточных вод.

Список литературы

1. Андреев, С.Ю. Новая технология безреагентной флотационной очистки сточных вод содержащих нефтепродукты / С.Ю. Андреев, Б.М. Гришин, Т.В. Алексеева // Региональная архитектура и строительство. – 2011. – №1.
2. Рулев, Н.Н. Кинетика флотации мелких частиц коллективом пузырьков / Н.Н. Рулев, Б.В. Дерягин, С.С. Духин // Коллоидный журнал. – 1977. – Т.39. – № 1.
3. Чантурия, В.А. Химия поверхностных явлений при флотации / В.А. Чантурия, Р.Ш. Шафеев. – М.: Недра, 1977.
4. Дерягин, Б.В. Микрофлотация / Б.В. Дерягин, С.С. Духин, Н.Н. Рулев. – М.: Химия, 1986.
5. Рулев, Н.Н. Теория флотации мелких частиц и флотационной водоочистки: дис. ... канд. хим. наук / Н.Н. Рулев. – Киев, 1977.
6. Фрумкин, А.Н. Физико-химические основы теории флотации / А.Н. Фрумкин. – М.: АН СССР, 1932.
7. Стахов, Е.А. Очистка нефтесодержащих сточных вод предприятий хранения и транспорта нефтепродуктов / Е.А. Стахов. – Л.: Недра, 1983.

References

1. Andreev, S.Y. New technology nonchemical flotation wastewater containing oil / S.Y. Andreev, B.M. Grishin, T.V. Alekseeva // Regional architecture and engineering. – 2011. – №1.
2. Rulev, N.N. Kinetics of the flotation of fine particles collective bubbles / N.N. Rulev, B.V. Derjaguin, S.S. Dukhin // Colloid Journal. – 1977. – T.39. – № 1.
3. Chanturiya, V.A. Chemistry of surface phenomena in flotation / V.A. Chanturia R.Sh.Shafeev. – M.: Nedra, 1977.
4. Derjaguin, B.V. Microflotation / B.V. Derjaguin, S.S. Dukhin, N.N. Rulev. – M.: Chemistry, 1986.
5. Rulev, N.N. Theory of flotation of fine particles and flotation water treatment: dis. ... Candidate. chemical. Sciences / N.N. Rulev. – Kiev, 1977.
6. Frumkin, A.N. Physico-chemical basis of the theory of flotation / A.N. Frumkin. – M.: USSR Academy of Sciences, 1932.
7. Stakhov, E.A. Purification of oily wastewater enterprise storage and transport of petroleum products / E.A. Stakhov. – L.: Nedra, 1983.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 711; 721

Национальный университет архитектуры и строительства Армении

0009, Республика Армения, г. Ереван,
ул. Теряна, д.105
тел.: (374) 94400117

Азатян Карен Рубенович,

кандидат архитектуры, доцент кафедры
“Архитектурное проектирование и дизайн
архитектурной среды”
E-mail: karenazatyan77@gmail.com

Енгоян Анна Робертовна,

кандидат архитектуры, доцент кафедры
“Архитектурное проектирование и дизайн
архитектурной среды”
E-mail: conceptproyekt@rambler.ru

National University of Architecture and Construction of Armenia

0009, Armenia, Yerevan, 105, Teryan St.,
tel.: (374) 94400117

Azatyan Karen Ruben,

Candidate of Architecture, Associate
Professor, Department of Architectural
Drafting and Design of Architectural
Environment

E-mail: karenazatyan77@gmail.com

Yengoyan Anna Robert,

Candidate of Architecture, Associate
Professor, Department of Architectural
Drafting and Design of Architectural
Environment

E-mail: conceptproyekt@rambler.ru

АРХИТЕКТУРА ЦЕНТРА ЕРЕВАНА В ПРОШЛОМ И В НАСТОЯЩЕМ

К.Р. Азатян, А.Р. Енгоян

Рассмотрены проблемы архитектурного формирования центра Еревана в XX веке, сложившегося в процессе исторического развития путем многократного преобразования старой застройки и создания новой. Особенности социально-экономического развития города и изменения градостроительных задач оказали существенное влияние на единство архитектуры центра.

Ключевые слова: Ереван, город, центр, архитектура, жилая застройка, градостроительство, композиция, ансамбль, развитие, процесс, деградация

THE ARCHITECTURE OF THE CENTER OF YEREVAN IN THE PAST AND PRESENT

K.R. Azatyan, A.R. Yengoyan

The article discusses the architectural formation problems of the center of Yerevan in the XX century. As in many other cities Yerevan center also was formed in the process of historical development, by multiple transformations of old buildings and creating new ones. However, it had its peculiarities. Formed in 1920-30s citywide space decades later turned into the city center, which in turn was followed by serious changes in the development of urban planning. These circumstances and trends in socio-economic development in recent decades had a significant impact on the unity of the center architecture. This paper is dedicated to the identification of different aspects of this problem.

Keywords: Yerevan, city, center, architecture, residential, urban, composition, ensemble, development, process, degradation

Город – живой организм, архитектура которого складывается главным образом в процессе исторического развития путем многократного преобразования старой застройки и создания новой. Город Ереван, в этом смысле, также не исключение. В течение последнего столетия бывшее городское пространство успело превратиться в центр города. Чтобы разработать собственное отношение к многочисленным проблемам застройки центра Еревана на современном этапе, необходимо рассмотреть тенденции и особенности формирования архитектуры в ретроспективе – в рамках XX века – основном периоде развития городского пространства.

Формирование застройки центра. Нынешняя структура центра Еревана сформировалась в первой половине XX века, начиная с 1920-1930-х годов. В этот период реконструировались существующие улицы и площади, создавались новые, образовывались великолепные комплексы. Город вырос очень быстро, преобразился, постоянно теряя что-то близкое и родное и взамен приобретая новое, которое со временем снова стало родным и без которого уже невозможно представить Ереван [1].

В течение двух десятилетий Ереван украсили такие прекрасные и своеобразные комплексы, как Театр оперы и балета, Дом Правительства, ансамбль Площади Республики и многие другие крупные сооружения. В структуру города была внедрена функционально интегрированная система, где роль композиционно-связующего звена между уникальными сооружениями была отведена жилой застройке. Таким образом сложился монументальный облик архитектуры города, благодаря чему в 1950-х годах Ереван стал одним из самых красивых и уникальных городов. Оценивая достижения архитектурного формирования Еревана с позиции настоящего, можно отметить, что произведения этого периода сохранили свое эмоциональное воздействие и в наши дни, так как отличаются градостроительно-ансамблевым подходом, насыщенными и разнообразными объемно-пространственными решениями, сдержанными и пластичными архитектурными формами и неповторимостью облика (рис. 1) [2, 3].

Со временем город вырос, сформировались новые районы, и в 1960-х годах Ереван 1930-х уже преобразился в центральное ядро города. Профессиональная деятельность второй половины XX века также имела свое внедрение в процесс развития архитектуры Еревана. Однако сформировавшийся в градостроительстве процесс массового жилищного строительства, продемонстрировавший множество достижений в процессе образования новых городских районов, вызвал негативные явления в комплексе застройки центра города. Жилая застройка – композиционное связующее звено в городской среде прошлого – потеряла свое значение и преобразилась в чистый функциональный элемент. В процессе формирования облика центра начался распад целостности. Здесь начали отделяться отдельные общественные сооружения, а связывающее звено жилой застройки ослабло. Облик города, однако, определяют не отдельные уникальные сооружения, а крупные ансамбли застройки улиц и площадей, где важное значение должно было уделяться именно жилой застройке [4, 5].



Рис. 1. Периметральная застройка центрального ядра в 1930-50-х годах.
Жилые дома по улицам Московяна, Теряна, Саят-Новы, Таманяна и проспекту Маштоца

Осуждая произведения 1930-1950-х годов за архаизм и излишества, нельзя не отметить, что архитектура второй половины XX века потеряла многое из достижений этих лет и не унаследовала характер системы ценностей. Архитектурная форма, в сравнении с временем деятельности А.Таманяна (автора-архитектора генерального

плана Еревана 1924 г., академика), естественно, подверглась закономерным изменениям. Однако развивать принципы ансамблевой застройки, присущие таманяновскому периоду, не удалось, несмотря на то, что ансамблевый подход – это главный принцип достижения эстетической выразительности и эмоционального воздействия в архитектуре [2, 6].

Коллизия старых и новых принципов застройки. Распад единства застройки центра начался с 1950-х годов. В проекте генерального плана 1951 года не было определенного подхода к задаче развития застройки центра, где четко отражалась бы концепция композиционной связи между существующей периметральной и новой застройкой. Реализация ансамблей различных улиц в духе классической периметральной застройки в то же время совпала с пересмотром направления архитектурного произведения. Возник конфликт двух противоречивых принципов. Традиционная градостроительная среда площадей и улиц начала застраиваться безликими объемами неопределенной архитектуры – типовыми зданиями. Исключением были лишь те улицы, архитектурная идея которых совпала с начальной градостроительной концепцией. Таким примером является улица Таманяна, где удалось при упрощении пластических средств достичь высокого художественного уровня, формируя созвучный к существующей застройке впечатляющий архитектурный ансамбль (рис. 1) [7].

В середине 1960-х годов принимается решение внедрения в застройке центра многоэтажного строительства. Основной причиной этого процесса являлось то, что стоимость реконструкции зон малоэтажной застройки не превышала расходы застройки свободных территорий, удаленных от инженерных магистралей. Процесс, разумеется, имел положительные стороны – устранение недопустимых санитарных условий, развитие новых магистралей и т.д. Положительно оценивая различные достижения, нужно отметить, однако, что многоэтажное жилищное строительство в центре отрицательно повлияло на существующую застройку. Причиной тому являлась не только нарушающая сформированный масштаб многоэтажная застройка, но также стихийный характер размещения и художественное несовершенство многоэтажных домов. Размещенные в пределах классической застройки безликие объемы никак не гармонизировали с существующими ансамблями, главной особенностью которых была именно эстетика городского комплекса [8].

В этой деятельности, тем не менее, 1960-е, пожалуй, были временем более или менее удачных решений в течение всего процесса массового строительства. Это было связано с сохранением некоторого преимущества индивидуального строительства. Индивидуально разработанные здания намного лучше включались в существующую среду. Это очевидно в застройке улицы Абовяна, на участке между улицами Туманяна и Московяна. Дома, возведенные позже прилегающих сооружений, сохраняя градостроительную структуру улицы, не нарушают композицию застройки, не конкурируют с акцентными сооружениями и со временем гармонизировались с общим комплексом (рис. 2).



Рис. 2. Жилые дома индивидуального проектирования по улице Абовяна (1960-е годы)

Вторжение типовых высотных зданий в периметральную застройку центра. В 1970-х годах начинается процесс внедрения стандартных высотных домов в центр Еревана. Применение в существующей периметральной структуре приемов строчной и точечной застройки, которые характерны для свободных территорий, оказалось, однако, совершенно непригодным для застройки улиц центра. В условиях их применения

невозможно было решать проблемы композиционной взаимосвязанности с существующим комплексом. Примеров подобного, к сожалению, много [1, 7].

Вторжение многоэтажных зданий стандартного, невыразительного архитектурного характера в уже сформированные центральные районы Еревана было градостроительной неделикатностью. Это продемонстрировало несовместимость примитивного технанизма стандартного домостроения и уже сформированной архитектуры. Ситуация осложнилась еще и тем, что размещение новых зданий предreshалось не разработкой объемно-пространственных решений главных градостроительных узлов, а сложилось случайным образом, вследствие частичной застройки. Подобные крупные объемы, разумеется, должны были стать композиционными доминантами градостроительной среды. Это требовало наделения зданий индивидуальным обликом. А ошибки застройки центра в 1970-х в первую очередь были обусловлены именно практикой “штучного” проектирования высотных зданий и тем обстоятельством, что они размещались без учета конкретного окружения (рис. 3) [1, 8].



Рис. 3. Непропорциональность высотных зданий и сложившейся застройки на отдельных участках улиц Агантагегоса, Амиряна и Саряна (1970-е годы)

Опыт индивидуального проектирования. Парадокс состоит в том, что даже высотные дома, выполненные в 1970-80-х годах по индивидуальным проектам в соседстве со старыми, значительно уступали им качеством архитектуры. Параллельно типовым многоэтажным зданиям постепенно разрабатывались и внедрялись индивидуальные проекты, которые, однако, также подверглись массовому применению в центре города. Придавая некоторую разнообразность силуэту застройки, они, однако, не смогли решить основную задачу городского комплекса – формирование целостных и своеобразных ансамблей. Внешняя архитектура этих зданий, за редким исключением, не отличалась от типовых разработок объемно-пластическим решением.

На этом фоне, разумеется, есть также исключения. Примерами органичного включения в градостроительную среду, служат жилые дома башенного типа, размещенные на улице Баграмяна и проспекте Маштоца, которые составляют единое целое с существующей застройкой и подтверждают необходимость индивидуального подхода в условиях уже сформированной застройки центра. Сооружения, размещенные в местах пересечения главных улиц, укрепили узловое точки периметральной структуры и сформировали объемные доминанты пространства. Индивидуальный характер внешнего облика полностью привязал эти сооружения к местности, превращая их в неотъемлемые элементы городского комплекса (рис. 4) [7].



Рис. 4. Высотные жилые дома индивидуального проектирования на перекрестках улиц Маштоца и Амиряна, Баграмяна и Просяна (1970-е годы)

Деградация застройки центра. Отрицательные тенденции застройки периода массового строительства наиболее углубились в постсоветские годы. При условиях спада общественного приоритета в области градостроительства, в архитектуре отдельных, в основном высотных жилых домов, размещенных в центре, очевидно отсутствие предпосылок формообразования.

Нынешнему этапу развития застройки центра характерна эволюция этажности. Если в 1970-1980-х годах максимальная этажность была равна 16-и, то в последние годы она достигла 18-22 этажей. Тут, по-видимому, не лишне напомнить о сейсмической опасности. Внедрение таких крупных объемов в сравнительно небольшие кварталы центра приводит к недопустимому увеличению плотности застройки. Высокая этажность в результате становится опасной не только для устойчивости здания, но и для всего квартала. Отрицательное воздействие плотности очевидно и в последовательном снижении количества зеленых участков и благоустройства.

Процесс внедрения высотных домов в центре лишен каких-либо градостроительно-композиционных принципов. Возводимые в разных местах отдельные огромные здания никак не объединяются в объемно-пространственной системе центра. В последнем проекте генерального плана города (2008 г.) нет четких предложений относительно консолидации композиции градостроительных узлов, на основе которых можно будет завершить комплекс застройки центра. Размещение новых элементов застройки обусловлено не задачами среды (композиционные оси, требования существующих ансамблей и т.д.), а только личными интересами и “скудными” амбициями заказчиков. Вторжение в пространство высотных зданий характеризуются крайним проявлением нарушения масштаба. Композиционные искажения в результате приводят к распаду единства градостроительного комплекса центра. Это очевидно при сравнении разновременных панорам центра (рис. 5) [8, 9].



Рис. 5. Панорама центра Еревана в начале 1980-х и сегодня

Нет значительных успехов также при застройке больших участков и даже целых улиц. Часто не удавалось создать не только зрительную взаимосвязь между старой и новой застройкой, но и проявить творческий принцип в процессе формирования архитектуры новых зданий. Эти явления очевидны в процессе застраивания двух композиционных артерий центра – Главного и Северного проспектов. С формированием в 1970-х годах Главного проспекта – широкой эспланады, укрепляющей новый масштаб центра, стало очевидным несовершенство масштаба периметральной застройки, который не соответствовал ширине проспекта (90 м). За последние десятилетия, однако, проявилась противоположная крайность. Громадные объемы, размещенные на разных участках проспекта, не только нарушают масштаб пространства в противоположном смысле, а также лишены какого-либо градостроительно-композиционного замысла и единства архитектурного облика (рис. 6).

Говоря о Северном проспекте, нужно отметить, что на улице, устанавливающей пространственную связь между комплексами Оперного театра и Площадью Республики, недопустимо было возведение крупных объемов большой высоты, которые искажают значение великолепных ансамблей прошлого. Характер композиции новой

застройки здесь должен был определяться элементами наследия, что придало бы всему комплексу соответствующий масштаб и единство архитектурного облика (см. рис. 6).



Рис.6. Деграция градостроительного пространства и архитектурно-художественного облика. Застройки Главного (А) и Северного (Б) проспектов. Фрагмент улицы Ханджяна (2000-е годы)

Композиционное несовершенство главных направлений городского комплекса привело к тому, что застройка центра Еревана стала более разнохарактерной, и фактически в городе, за редкими исключениями, нет целостно-завершенных композиционных ансамблей застройки улиц и площадей.

Проблемы художественного образа в настоящем. Касаясь современных художественных проблем архитектуры центра, нужно отметить, что здесь также нет положительных тенденции развития. Каждый элемент градостроительного пространства в настоящем формируется спонтанно. Отсутствие архитектурно-художественных критериев способствует эстетической неопределенности отдельных сооружений. Облик зданий характеризуется весьма обширным разнообразием вкусовых и стилевых моделей. Основными определяющими факторами в формировании решений являются вкус и финансовые возможности заказчиков. Наличие средств предполагает степень роскошности художественного образа, которое, однако, не имеет никакого отношения к эстетике [1, 8].

Значительное воздействие на формирование облика зданий имеет также отрицательная тенденция копирования различных сооружений из всемирной практики. Отсутствие общих художественных принципов и низкий уровень профессиональной деятельности приводят к неопределенности в разнообразии, превращая городской комплекс в экспериментальное пространство некачественных поисков художественного образа. Абсолютному забвению предается существование сохраняющих активную жизнедеятельность в городском пространстве архитектурных ансамблей 1930-1950-х, которые должны были продиктовать художественный образ новых сооружений. Не способствуют упомянутому также неэффективные средства применения мотивов национальной архитектуры. Осуществляемые в облицовке механическое копирование и безвкусные импровизации не входят в художественную связь с рядом стоящими оригиналами каменного зодчества.

Механическое воспроизведение и стилизация форм прошлого никогда не были предпосылками создания значительных произведений архитектуры. Придавать старые формы новой застройке и этим попытаться разрешить проблему гармонизации и стилевой целостности старого и нового – не целесообразно. Неприемлем также безликий «интернациональный стиль». Современная архитектура должна выражать потребности и достижения времени, сохранять глубокую преемственность традиций, отражать местные условия, градостроительную среду и, наконец, психологию народа [6].

Ретроспективный взгляд. Рассматривая проблему с позиции настоящего этапа развития, можно констатировать, что комплекс центра Еревана, как целостный композиционный организм, сформировался в довоенные и послевоенные годы и характеризовался единством объемно-пространственного решения. С развитием города возникла необходимость завершения застройки центра, разумеется, в новом масштабе, по новым планировочным принципам, новыми методами и материалами строительства, но в то же время – в безусловной гармонии старой и новой застройки. К сожа-

лению, именно этот принцип преемственности и композиционной взаимосвязанности не был сохранен, что впоследствии негативно сказалось на архитектуре центра города.

Рассматривая в ретроспективе проблемы развития архитектуры центра Еревана в прошлом и настоящем, можно сделать следующие основные выводы.

1. Застройка центра сформировалась в 20-50-х годах XX столетия, представляя в то время практически все пространство города. Она охарактеризовалась единой композиционной целостностью городского комплекса, ансамблевой архитектурой и своеобразным сочетанием в художественном облике преемственности и духа современности.

2. Распад единства застройки центра начался в 1950-х годах в связи с произошедшими изменениями в области градостроительства и с процессом столкновения старых и новых принципов застройки, возникшем в результате беспрецедентного роста города. В архитектурном произведении приоритет внешней городской среды был сопоставлен с подходами экономической целесообразности.

3. В процессе застройки центра в 1960-х годах укоренилось явление композиционной неопределенности в сочетании старого и нового. При очевидной эффективности принципа индивидуального проектирования не были осуществлены основные преимущества подхода, предпочтение отдавалось многократному применению отдельных разработок и внедрению стандартных зданий.

4. Значительное негативное воздействие на комплекс центра имело внедрение в периметральную застройку стандартных высотных зданий в 1970-х годах. Безликость многократно примененных зданий и игнорирование градостроительно-композиционных задач ослабили единство архитектуры, а увеличение плотности населения в небольших кварталах привело к ухудшению качества среды.

5. Деградация застройки центра наиболее усилилась начиная с 1990-х. Отсутствие градостроительных принципов в архитектуре отдельных зданий выразилось в чрезвычайном увеличении этажности, масштаба и плотности, приведя к проблемам безопасности, санитарно-гигиенических условий, озеленения, благоустройства кварталов и к распаду единства художественного облика центра.

6. Архитектура центра в настоящем характеризуется отсутствием художественных критериев, причем принцип спонтанного образования каждого элемента градостроительного пространства приводит к неопределенному разнообразию архитектурного облика, еще больше расчлняя целостность застройки.

7. Главными задачами современного этапа развития архитектуры центра являются: восстановление приоритета градостроительного подхода, выявление задач сочетания старого и нового, возрождение принципа ансамблевой архитектуры и уточнение художественных критериев, которые позволят обеспечить дальнейшее развитие комплекса центра и отчасти преодолеть разные ошибки прошлого.

Список литературы

1. Рашидян, Г.Г. Центр Еревана – каким ему быть в будущем / Г.Г. Рашидян // Бюллетень строителей Армении. – Ереван, 1999. – № 3 (32). – С. 13–15.
2. Рашидян, Г.Г. Главная площадь Еревана во времени и пространстве / Г.Г. Рашидян. – Ереван: Изд-во ЕГУАС, 2007. – 155 с.
3. Азатян, К.Р. Ансамблевое решение как одна из характерных особенностей архитектуры жилых зданий Еревана, сооруженных в 1920–1955 годах (на арм. языке) / К.Р. Азатян // Сборник научных трудов ЕГУАС. – Ереван, 2011. – Том I (40). – С.32–40.
4. Цайдлер, Э. Многофункциональная архитектура: пер. с англ. / Э. Цайдлер. – М.: Стройиздат, 1988. – 151 с.
5. Иконников, А.В. Архитектура города / А.В. Иконников. – М.: Стройиздат, 1972. – 215 с.
6. Иконников, А.В. Художественный язык архитектуры / А.В. Иконников. – М.: Искусство, 1985. – 175 с.
7. Григорян, А.Г. Архитектура Советской Армении / А.Г. Григорян, М.Л. Товмасын. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.

8. Рашидян, Г.Г. Развитие архитектуры массового жилища Армении и задачи современного этапа: монография / Г.Г. Рашидян. – Ереван: Изд-во ЕГУАС, 1999. – 88 с.
9. Манукян, А.М. Город для человека (на арм. языке) / А.М. Манукян // Сборник научных трудов ЕГУАС. – Ереван, 2012. – Том III (46). – С. 21–30.

References

1. Rashidyan, G.H. The center of Yerevan – how it will be in the future / G.H. Rashidyan // Bulletin bilder union of Armenia. – Yerevan, 1999. – № 3 (32). – P. 13–15.
2. Rashidyan, G.H. Main Square of Yerevan in time and space / G.H. Rashidyan. – Yerevan: YSUAC, 2007. – 155 p.
3. Azatyan, K.R. The feature of ensemble as one of the major characteristic features of the architecture of residential buildings built in Yerevan in 1920-1955 / K.R. Azatyan // Proceedings of YSUAC. – Yerevan, 2011. – Vol. I (40). – P.32–40.
4. Zeidler, E.H. Multi – use architecture / E.H. Zeidler. – M.: Stroyizdat, 1988. – 151 p.
5. Ikonnikov, A.V. The city's architecture / A.V. Ikonnikov. – M.: Stroyizdat, 1972. – 215 p.
6. Ikonnikov, A.V. The artistic language of architecture / A.V. Ikonnikov. – M.: Iskusstvo, 1985. – 175 p.
7. Grigoryan, A.H. Architecture of the Soviet Armenia / A.H. Grigoryan, M.L. Tovmasyan. – M.: Stroyizdat, 1986. – 320 p.
8. Rashidyan, G.H. Development of architecture of mass housing in Armenia and objectives of the current stage / G.H. Rashidyan. – Yerevan: YSUAC, 1999. – 88 p.
9. Manukyan, A.M. City for human / A.M. Manukyan // Proceedings of YSUAC. – Yerevan, 2012. – Vol. III (46). – P. 21–30.

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

Белов Антон Юрьевич,
аспирант
E-mail: notnabe@gmail.com

Лапшина Елена Геннадьевна,
кандидат архитектуры, профессор, зав.
кафедрой «Основы архитектурного
проектирования»
E-mail: elenlaps@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

Belov Anton Yurievich,
Postgraduate
E-mail: notnabe@gmail.com

Lapshina Elena Gennadyevna,
Candidate of Architecture, Professor,
Head of the department «Foundations of
Architectural Design»
E-mail: elenlaps@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РУССКОГО ЦЕРКОВНОГО ЗОДЧЕСТВА В АРХИТЕКТУРЕ СОВЕТСКОГО МОДЕРНИЗМА

А.Ю. Белов, Е.Г. Лапшина

Рассматривается архитектура советского модернизма. Выявляется культурная и архитектурная значимость пензенского Дворца детского и юношеского творчества. На примере сравнения здания Дворца с православным храмом найдены семь сходств. Сделан вывод о том, что в интернациональной архитектуре советского модернизма отражены национальные особенности русского церковного зодчества.

Ключевые слова: русское церковное зодчество, советский модернизм, православный храм, Дворец пионеров

RUSSIAN TRADITIONS OF CHURCH ARCHITECTURE IN ARCHITECTURE OF SOVIET MODERNISM

A.Yu. Belov, E.G. Lapshina

The architecture of the Soviet modernism is discussed. Cultural and architectural importance of Penza Palace of Children and Youth Creativity was identified in this article. Seven similarities were identified from comparison of the Penza Palace of Children and Youth Creativity with the Orthodox church. The author concludes that architecture of the Soviet modernism reflects the national features of Russian church architecture.

Keywords: Russian church architecture, Soviet modernism, Orthodox church, palace of Pioneers

В данной статье нами делается попытка показать преемственность глубинных архитектурных традиций, которые, несмотря на изменение архитектурной парадигмы, государственного устройства, идеологии и ценностей, были отражены архитекторами в новых формах и стилях, соответствующих современному развитию науки и техники. Высказывается предположение, что в интернациональной архитектуре советского модернизма есть черты, присущие национальному русскому церковному зодчеству, проявившиеся в объемно-пространственной композиции, роли доминанты, связи с ландшафтом, декоре, цветности, символизме. В период кризиса современной архитектуры, её внутренней пустоты и агрессивности к окружающему пространству выявленные архитектурные особенности, умение грамотно использовать их в проектировании помогут сделать новые сооружения более близкими и гуманными по отношению к народу, к сложившейся культурной среде.

Период советской архитектурной деятельности с 1955 по 1991 годы стал называться советским модернизмом сравнительно недавно. Ключевую роль в закреплении данного наименования сыграла книга «Советский модернизм» Феликса Новикова и

Владимира Белоголовского, вышедшая в 2010 году. Общепринято, что основополагающее влияние на формирование данного направления оказали западный модернизм и русский авангард¹. Впоследствии советский модернизм обрёл свою специфику, а в начале XXI века стал привлекать на выставки огромную массу небезразличных к данному сформировавшемуся культурному феномену людей. К этому стилю относится пензенский Дворец детского и юношеского творчества (бывший Дворец пионеров и школьников) (рис. 1). Он был построен в Пензе в зрелую эпоху советского модернизма в 1987 году по индивидуальному проекту ЦНИИЭП учебных зданий города Москвы, что удалось выяснить в пензенском государственном архиве.

Дворец расположен недалеко от центра города в живописном месте на высоком участке склона холма, в результате чего здание заметно со множества точек обзора. Таким образом, Дворец, как когда-то и храм, является доминантой в городской застройке, выполняет функцию ориентира. Крутой склон, на котором расположено здание Дворца, подчеркивают протяженные пологие лестницы, устроенные в разных уровнях. Лестница, ведущая на второй этаж, установлена так, что она визуально объединяется с лестницей, идущей по рельефу на первый этаж здания. Это даёт эффект объединения двух маршей в единую широкую монументальную лестницу. Она несёт не только утилитарно-функциональное назначение, но и содержит символическую и феноменологическую нагрузку (исходя из установленных А. Раппапортом категорий понимания архитектурной формы [1]). «Уместно заметить, что на протяжении многих веков в различных культурах и религиях существовало представление о лестнице как о «символе соединения». Этот семантический код отражён во многих сюжетах («лестница Иакова», видение св. Ромуальда и др.)» [2, с.114]. Также лестница символизирует подъём, духовное восхождение человека. Архетип лестницы использован в структуре Преображенской церкви в Кижях, а символика описана афинским мыслителем и христианским святым Дионисием Ареопагитом. Данный труд включен игуменом Кирилло-Белозерского монастыря Гурием Тушиным в один из своих сборников. Также в качестве ярких примеров символического и феноменологического значения лестниц в архитектуре можно назвать лестницу лидера позднего конструктивизма И. Леонидова, лестницы японского архитектора Тадао Андо, на архитектурные поиски которого, по словам Коноваловой Н.А., оказал влияние русский авангард [3]. Таким образом, можно сказать, что лестница – это архетип, присущий как исторической, национальной, так и современной интернациональной архитектуре XX века.

Многоуровневость участка, продиктованная крутым рельефом, дополнена надземной террасой, расположенной на заднем дворе. Там же по рельефу устроен открытый амфитеатр. С холма открывается замечательный вид на город. Окружающее пространство активно использовано в образе данного архитектурного произведения. Ландшафт взаимодействует с архитектурой так, что он становится её неотъемлемой частью. Возникающее единое архитектурное пространство, образованное в результате синергичного слияния природного ландшафта и материального объекта, усиливает художественный образ и активно воздействует на восприятие реципиентом данной архитектуры. Включение окружающего пространства в архитектуру – это традиционная, в особенности для русского зодчества, сторона архитектурного творчества. «На выбор местоположения для погоста русские строители обращали большое внимание, и часто трудно придумать более естественную связь между постройками и их природным окружением, чем та, которая в них существует» [4, с. 72]. Под строительство храма, монастыря, усадьбы русскими зодчими тщательно выбиралось «лучшее» место. По мнению Ю.С. Ушакова, данный выбор основывался главным образом на внутреннем чувстве гармонии, сформировавшемся под влиянием природной среды. Также он писал, что «трезвая практичность всегда сочеталась у народа с поэтичностью мыслей и чувств – в этом проявилась одна из главных черт русского национального характера. Эстетическая ценность природы, её неповторимость отразились на всём, чем окружал себя человек, на всём, что создавали его руки, – от

¹ Среди архитекторов данного периода были выпускники ВХУТЕМАСа, ученики мастеров авангарда. Например, Леонид Павлов учился у И. Леонидова, А. Веснина.

ложки до ткацкого станка, от амбара до храма. Народ никогда не отделял утилитарную функциональную сторону архитектуры от художественной формы. Эти важнейшие стороны архитектурного творчества выступали как равные, в гармоничном единстве, более того, красота была жизненно необходимой и особенно ценимой частью функции» [4, с. 67]. Показательными сведениями являются сказания об основании монастырей. Например, в житии преподобного Кирилла Белозерского говорится о том, как он долго скитался в поиске именно того места, которое, по преданию, указала Сама Пречистая Дева, для основания монастыря, впоследствии ставшим именоваться Кирилло-Белозерским. Природный ландшафт играл важную роль для русского народа. Ландшафт, «русская земля» не являлись фоном для размещения храма, землю называли матушкой, проливали за неё кровь, земля была и кормилицей, и последним пристанищем в человеческой жизни. Поэтому, наравне со зданием храма, ландшафт, земля несли для русского человека важнейшее символическое, культурное и художественное значения.



Рис. 1. Дворец детского и юношеского творчества

В экстерьере Дворца детского и юношеского творчества активно использованы авангардистские и модернистские архитектурные приёмы. В основе композиции – контрастное сочетание разномасштабных параллелепипедов. Впервые художественные возможности данного приёма продемонстрировал Казимир Малевич в созданных им архитектонах². Опыты Малевича оказали и оказывают серьезное влияние на формирование и развитие современной архитектуры. Один из параллелепипедов поднят на колоннах над землёй по принципу дома на ножках Ле Корбюзье. Данные объёмы заполнены соответствующим стилю «декором»: витражными системами, представленными горизонтальным и, в местах расположения лестниц, вертикальным ленточным остеклением, часто встречающимся в архитектуре русского авангарда. Также в качестве декора можно отметить своеобразное оформление окон. Выразительные П-образные перемычки, сильно выдающиеся вперед, и круто-срезанные отливы, окрашенные вместе с перемычками в белый цвет, заметно выделяются на фоне лишенной декора стены из красного кирпича. В данном приёме прочитывается нацио-

² Архитектон – архитектурно-скульптурная модель, в которой принципы супрематизма использовались в построении объемно-пространственных форм.

нальная особенность оформления окон наличниками. Она проявляется в контрастной форме, цвете и компоновке: окно заметно выделяется на фоне однородной кирпичной стены (рис. 2). Кроме того, в отдельную особенность, часто используемую русскими зодчими в храмоводательстве, следует вынести использование цвета (белые элементы на красном фоне). Над витражом главного входа установлен белый оштукатуренный карниз. Он визуально подчеркивает вздымающийся над ним квадратный в плане объём, который единственный среди множества других объёмов украшен вертикальными ребрами, что еще больше выделяет его из общей композиции дворца. Главной доминантой является вертикальный объём обсерватории с куполом телескопа, где первый расчленен вертикальными лентами витражей, придающими ему большую стройность. Здание Дворца решено трехмерно, пространственно: главный фасад не является парадным, он не выделяется за счёт особой проработанности, или декора. Все ракурсы и виды несут важную художественную ценность, полноту всей архитектурной композиции. Отсутствие однофасадности, как особенность проектирования и пространственного восприятия, широко применялось в архитектуре авангарда и модернизма в начале XX века. В то же время это свойство было уже характерно для древнерусского зодчества. Это особенно заметно в архитектуре русских средневековых храмов, где каждый фасад проработан и важен наравне с остальными. «...Приёмы плановой компоновки и сам строй сооружений храмовых ансамблей предусматривали хорошую их обозреваемость со всех сторон, их всефасадность. В этом важном качестве архитектурно-пространственной организации проявилась национальная особенность профессионального мышления народных зодчих, нашедшая отражение во всей древнерусской архитектуре и формировавшаяся в период развития деревянного зодчества» [4, с. 77].



Рис. 2. Сравнение композиции и приёмов оформления окон: а – В. М. Васнецов. Третьяковская галерея. Москва. 1902–1904 гг.; б, г – Дворец детского и юношеского творчества. Пенза. 1987 г.; в – Храм Тихвинской иконы Божией Матери в Алексеевском. Москва. 1676–1682 гг.



Рис. 3. Вид на Дворец детского и юношеского творчества

Находясь в непосредственной близости и пребывая в архитектурном пространстве Дворца, мы можем ощутить масштаб здания, фактуру материала, насладиться гармоничной композицией и архитектурной, благородными материалами, пропорциональностью форм и живописностью места. Также важной субстанцией, воздействующей на психоэмоциональное состояние при созерцании сооружения, является время. Архитектура дворца отражает не только советское время, при котором было построено здание, но и произошедшие за последующие годы события. Здание было возведено всего 27 лет назад, но за этот короткий временной промежуток произошло множество событий: перестал существовать Советский Союз, советские устремления и идеи, изменилась жизнь, стала другой и архитектура. Для человека среднего возраста и младше то время, та эпоха, кажутся очень далёкими, неясными. Совокупность всех факторов придаёт Дворцу детского и юношеского творчества особенную культурную ценность и способствует истинному, как выразился в своей докторской диссертации А. Раппапорт, «переживанию архитектурных форм» [1].

Наиболее заметным сходством Дворца детского и юношеского творчества с образом православного храма является его объёмно-пространственная композиция. Дворец расположен таким образом, что его главный фасад обращён к склону холма, а задний – к подъёму. Поэтому издали он хорошо просматривается со стороны главного и боковых фасадов (рис. 3). Также вид преимущественно на главный фасад продиктован расположением объекта в системе улично-дорожной сети города. На расстоянии богатая объёмно-пространственная композиция обобщается. Объёмы более четко подразделяются на главные и второстепенные. Именно с этой стороны композиционное расположение выстраивается в структуру, состоящую из двух ярко выраженных объёмов (об их выделяющемся декоре мы говорили выше), расположенных на определенном расстоянии друг от друга и установленных на едином основании: вертикального объёма, завершённого куполом для телескопа, и объёма, квадратного в плане. Такая структура непременно отсылает человека русской культуры к образу православного храма, который состоит из вертикального объёма колокольни и объёма храма, основная часть которого также имеет в плане квадрат (рис. 4). Средняя часть храма может быть завершена как четвериком, так и барабаном. Круг в основании барабана, а тем более четверик храма аналогичны кубическому объёму Дворца, а колокольня – вертикали обсерватории Дворца.

Храм на протяжении веков являлся доминантой, важнейшим архитектурным сооружением для русского народа. Архитектура храма выражала *главное* (сущность бытия, смысл) в жизни русского человека, отвлекая его от земных забот, свидетельствовала о вечности, Истине. Русский, а впоследствии советский народ, глубоко впитав почти за тысячу лет такое отношение к церковной архитектуре, даже в годы уничтожения храмов продолжал использовать данный образ при создании сооружений иного назначения. Так происходило несмотря на то, что советские Дворцы труда, пионеров служили материалистической идеологии, в которой не было места Богу. Новая коммунистическая религия, искренняя вера в светлое будущее, ради которого народ жертвовал настоящим, была для многих советских людей главным в жизни. И это новое *главное*, подменившее православие, советские архитекторы подсознательно выражали через объёмно-пространственную композицию храма (рис. 5). Так произошло и при проектировании пензенского Дворца пионеров.

Его сходства с храмом не лежат на поверхности, они не получены в результате стилизации, а привнесены автором интуитивно. В годы проектирования данного объекта со стороны государства против церкви велась неприкрытая борьба, и поэтому архитектор вряд ли стал и смог бы специально внедрять в проект черты церковного зодчества. Дворец пионеров и школьников – это здание, которое должно было олицетворять и служить советской материалистической идеологии. «Дворец» в советское время обрел иной смысл в архитектуре, он отчасти подменил собой храм как в идеологическом, так и в понятийном смысле. Так о развитии понятия «дворец» писал А.В. Иконников: «Для массового сознания революционных лет «дворец» – символ враждебных сил. В поэзии Маяковского дворец – расстреливаемый Зимний или Лувр –

выступал как воплощение прошлого, противостоящее фабрике – воплощению будущего. Однако после закрепления победы Октябрьской революции понятие «дворец» превращается в символ торжества нового общественного строя. Этот новый символический смысл уже звучит в ранних проектах Дворцов труда и Дворцов рабочих (а в начале 30-х годов – и в замысле Дворца Советов в Москве). Он связывается со многими осуществленными крупными общественными сооружениями, выделяющимися значением социальной функции и величиной, – их тоже стали именовать дворцами. Дворцы культуры и Дворцы пионеров сложились в широко распространенные типы зданий» [5, с.43]. Архитектор, создавая современный образ Дворца пионеров, выражая в архитектуре советские достижения, коммунистические идеалы и смыслы, несознательно использовал образную структуру православного храма, так как в его подсознании этот образ обладал высшей ценностью, являлся архетипом, Архитектурой.

Советские архитекторы – это люди русской культуры, воспринимающие и оценивающие мир через её призму. Годы советской власти не могли быстро изменить человека, а в новой идеологии не было замены многим традиционным представлениям и взглядам на жизнь. Поэтому, несмотря на отказ от православных традиций на государственном уровне и возобновление антирелигиозной компании Н.С. Хрущёвым в период начала советского модернизма, архитекторы не могли полностью оторваться от образов традиционной православной архитектуры, достигшей за период своего существования высочайшего художественного развития.

В итоге в архитектуре Дворца детского и юношеского творчества и архитектуре русского православного храма можно выделить ряд сходных приемов:

- объемно-пространственная композиция;
- размещение в структуре города: доминанта в застройке, роль ориентира;
- включение окружающего пространства в архитектуру;
- всефасадность;
- декор: наличники;
- цветовое решение (красный кирпич стен, белые вставки);
- символизм. Здание – символ государственной идеологии.

Таким образом, архитектура советского модернизма испытывала на себе влияние русской церковной архитектуры и, несмотря на заявленную интернациональность, содержала в себе национальные черты.

Леонтьев К.Н. прорицательно заметил то, что «мир идёт к уродливому упростительному смещению» [6, с. 128], и сегодня эта фраза особенно актуальна. Для сохранения русского мира, развития национальной культуры необходимо опираться на многовековые традиции, учитывать их в современной России и современной русской архитектуре. Использование выявленных особенностей и их дальнейший поиск могут придать современной русской архитектуре потерянную в интернациональности идентичность, на поиск которой сегодня направлены архитектурные конкурсы³, выставки⁴ и усилия множества российских архитекторов.

Выводы

На примере натурного обследования здания Дворца детского и юношеского творчества найдены общие черты с архитектурой православного храма, которые были привнесены архитектором на ассоциативном уровне. Данное сходство в здании Дворца не является стилизацией, оно, в соответствии с материальными, техническими, временными и эстетическими возможностями, отражает традиционные художественные представления о пространстве, форме, цвете, формировавшиеся на протяжении всей истории нашего народа.

³ Международный архитектурный конкурс «Русский характер», 2014 г.

⁴ Международный архитектурный фестиваль «Зодчество». Темы последних и будущего фестивалей посвящены идентичности.



Рис. 4. Сравнение объемно-пространственных композиций Дворца детского и юношеского творчества и православного храма:
 а – Дворец детского и юношеского творчества; б – фасад православного храма;
 в – сравнительный рисунок; г, д, е – храмы Пензы и Пензенской области



Рис. 5. Архитектура русского авангарда:
 а – А. Буров. Дипломный проект центрального вокзала в Москве. 1925 г.;
 б – В. Пашков. Дипломный проект библиотеки им. В.И. Ленина в Москве. 1927 г.;
 в – И. Леонидов. Дипломный проект библиотеки им. В.И. Ленина в Москве. 1927 г.
 Архитектура советского модернизма: г – В. Кузнецов и др. Железнодорожный вокзал. Тверь.
 1984–1990 гг.; д – Р. Гольшко и др. Дворец пионеров. Мурманск. 1985 г.;
 е – Г. Стоилов. Дом-памятник коммунистической партии Болгарии. Бузлуджа. 1981 г.



Рис. 6. Фотофиксация современного состояния Дворца детского и юношеского творчества

Список литературы

1. Раппапорт, А.Г. К пониманию архитектурной формы / А.Г. Раппапорт // НИИТАГ РААСН. – 2000. – URL: <http://www.niitag.ru/info/doc/?103> (дата обращения: 04.07.2014).

2. Коновалова, Н.А. Лестницы Андо Тадао / Н.А. Коновалова // Восточная коллекция. – 2004. – URL: http://orient.rsl.ru/assets/files/food/text/2004/2004_1_16/2004_1_konowalowa_g.pdf (дата обращения: 30.06.2014).
3. Коновалова, Н.А. Сохранение и развитие исторических традиций в современной архитектуре Японии / Н.А. Коновалова // НИИТАГ РААСН. – 2006. – URL: <http://niitag.ru/info/doc/?140> (дата обращения: 30.06.2014).
4. Пилявский, В.И. История русской архитектуры / В.И. Пилявский, А.А. Тиц, Ю.С. Ушаков. – М.: Архитектура-С, 2003. – 512 с.
5. Иконников, А.В. Функция, форма, образ в архитектуре / А.В. Иконников. – М.: Стройиздат, 1986. – 288 с.
6. Бердяев, Н.А. Русская идея / Н.А. Бердяев. – СПб.: Азбука-Аттикус, 2013. – 320 с.
7. Новиков, Ф. Советский модернизм: 1955–1985. Антология – Феликс Новиков. Взгляд из XXI века – Владимир Белоголовский / Ф. Новиков, В. Белоголовский. – Екатеринбург: Tatlin, 2010. – 232 с.

References

1. Rappaport, A.G. To understanding of an architectural form / A.G. Rappaport // НИИТАГ РААСН. – 2000. – URL: <http://www.niitag.ru/info/doc/?103>
2. Konovalova, N.A. Stairs by Tadao Ando / N.A. Konovalova // Oriental collection. – 2004. – URL: http://orient.rsl.ru/assets/files/food/text/2004/2004_1_16/2004_1_konowalowa_g.pdf
3. Konovalova, N.A. The preservation and development of historical traditions in the modern architecture of Japan / N.A. Konovalova. // НИИТАГ РААСН. – 2006. – URL: <http://niitag.ru/info/doc/?140>
4. Pilyavsky, V.I. History of Russian Architecture / V.I. Pilyavsky, A.A. Tietz, S.Yu. Ushakov. – М.: Архитектура-С, 2003.
5. Ikonnikov, A.V. Function, form, image in architecture / A.V. Ikonnikov. – М.: Stroyizdat, 1986.
6. Berdyayev, N.A. Russian idea / N.A. Berdyayev. – SPb.: Azbuka-Atticus, 2013.
7. Novikov, F. Soviet modernism: 1955–1985. An anthology – Felix Novikov. A view from the XXI century – Vladimir Belogolovsky / F. Novikov, V. Belogolovsky. – Yekaterinburg: Tatlin, 2010.

*Донбасская национальная академия
строительства и архитектуры*

Украина, 86123, Донецкая обл.,
г. Макеевка, ул. Державина, 2

Липуга Раиса Николаевна,
ассистент кафедры «Архитектурное
проектирование и дизайн архитектурной
среды»
E-mail: Lynx-Ray@mail.ru,
Yadger-Lipuga@yandex.ru

*Donbas National Academy of Civil
Engineering and Architecture*

Ukraine, 86123, Donetsk region, Makeevka,
2, Derzhjavina St.

Lipuga Raisa Nicolaevna,
Assistent of the department «Architectural
designing and design of the architectural
ambience»
E-mail: Lynx-Ray@mail.ru,
Yadger-Lipuga@yandex.ru

АНАЛИЗ ЗАРУБЕЖНОГО И ОТЕЧЕСТВЕННОГО ОПЫТА СТРОИТЕЛЬСТВА ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ

Р.Н. Липуга

Предложены эффективные пути решения проблемы развития и сохранения православного храмостроения на юго-востоке Украины (Луганская, Донецкая, Запорожская области). Проведены комплексные исследования сохранившихся старых и новых храмов с целью выявления несоответствий с принципами православных канонов, стилистических и строительных традиций. Разработан комплекс требований к современному строительству православных храмов.

Ключевые слова: современные тенденции, критерии, интеграция, храмостроение, деструктивизм, модерн, региональная специфика

THE ANALYSIS OF FOREIGN AND UKRAINIAN EXPERIENCE OF ORTHODOX CHURCHES CONSTRUCTION

R.N. Lipuga

The paper is devoted to the problem of the current development of the Orthodox church construction in the southeast of Ukraine (Lugansk, Donetsk and Zaporozhe regions). A comprehensive analysis of the survived and new churches in the regions and foreign churches under study was carried out to reveal the discrepancy to the principles of the Orthodox canons, to the stylistic and building traditions. The author focuses on the problems which occurred in sacral structure construction and on the basis of the criteria suggests a new approach to the maintenance of the Orthodox church construction in the modern architecture. Key problems of the benchmark analysis of Orthodox church are considered, the optimum set of its component is determined. A complex of requirements to modern construction of Orthodox churches in the region is given. Functional regional specifics approaches, allowing save in region such direction in architecture, as church construction are offered.

Keywords: current trends, criteria, integration, church construction, destructivism, Modernism, regional specifics

В настоящее время проблема сохранения в регионе храмостроения как архитектурного направления актуальна. Каким быть православному храму в ближайшем будущем?

Сегодня современные условия жизни требуют осмысления всей истории храмостроения и поиска нового образного решения. Храм, возведенный среди современной постройки, должен гармонично взаимодействовать с окружающей природой и архитектурной средой. Он должен, бесспорно, соответствовать вековым традициям, национальному характеру и при этом сохранять церковные каноны. Поэтому определенное обращение к национальным традициям архитектуры прошлого вполне логично и правильно.

Проблеме сохранения региональной идентичности в православных храмах посвящены исследования Вечерского В.В., Геврика Т., Ярослава Тараса, Багалея Д., Валлерштейна И., Карине Г., Дынгеса Ю., Нестерцова С., Никольского В., Пирко В., Теодора Фридгута, Яруцкого Л.И. и других отечественных и зарубежных авторов. Но, несмотря на обширный круг исследований, проблема современного храмостроения Юго-Востока Украины до сих пор остаётся актуальной.

Анализ современного строительства православных храмов на Юго-Востоке Украины позволяет утверждать, что только выявление региональной идентичности и разработка комплекса требований к современному храмостроению позволит сохранить православные храмы-памятники архитектуры и само направление в современной практике.

Цель данного исследования – выявить современное состояние православных храмов и сохранить каноны, региональные традиции и стилистические особенности в зарубежной и отечественной практике храмостроения.

Для достижения поставленной цели необходимо:

- сравнить православные храмы стран, где отмечено проживание православных граждан, в основном переселенцев-эмигрантов с Восточной Европы, России и Украины;
- исследовать православные храмы в других странах мира и выявить в них характерные признаки и стилистические особенности;
- в отечественной практике храмостроения (по областям Украины) выявить региональную идентичность, найти отличия в стилистических предпочтениях;
- на Юго-Востоке Украины выявить основные принципы и приёмы формирования образности архитектурной идентичности православных храмов;
- составить комплекс требований к современному строительству православных храмов исследуемого региона.

В результате исследования был обобщен опыт теоретических и практических разработок в области храмостроения, что позволило сформировать представление о современном состоянии и разных аспектах проблемы формирования региональной идентичности православных храмов Юго-Востока Украины. На основе выявления региональной идентичности сформирована концепция комплексного регионального подхода к современной сакральной архитектуре исследуемого региона.

На основе полученных результатов исследования впервые проведено сравнение храмостроения Юго-Востока Украины в рамках всей страны и в странах Европы, Азии, Америки, вследствие чего выявлено, что:

1. Западная сакральная архитектура не имела длительного перерыва в развитии, который был на Украине и странах СНГ (бывшая территория Советского Союза). Она развивалась естественным эволюционным путём в одном русле со всей архитектурой. К началу XX века в ней постепенно созрело стремление к новым формам, модернизму. Постмодернизм, возникший в 70-х годах, признавал как новые, так и ретроспективные формы [5].

2. Современное направление – деструктивизм – отказывается от традиций и выражения тектоники, стремясь к полной индивидуальной свободе творчества.

3. Западная культовая архитектура стремится к повышенной образной выразительности и оригинальности, это непрерывное экспериментирование формами [12].

4. На Западе, как и в дореволюционной России, кафедральный городской собор определял общественный центр города, а приходские храмы – общественные центры районов города. Там, где религия не подвергалась запретам, эта ситуация сохранялась и развивалась. Религиозные и социальные функции западных общественных центров настолько сблизились, что иногда сосуществуют в едином многофункциональном комплексе. Хотя для православного богослужения объединение такого рода в одном объёме трудно себе представить, однако присоединение к религиозным функциям церкви социальных функций, оставленных государством, является в настоящее время для нас актуальным. В этом смысле опыт религиозно-общественных центров Запада

должен быть изучен для создания на базе приходских церквей и монастырей культурно-духовных центров [10].

5. Зарубежное проектирование храмов разнообразно и многогранно, поэтому их нельзя классифицировать как единое архитектурное направление, поскольку каждый из храмов относится к разным конфессиям и несет отпечаток религиозной направленности, социальной ориентации и современного мировоззрения. Естественно, все перечисленные факторы влияют на архитектурно-планировочное решение сооружений.

6. Храмовая архитектура на территории США имеет своеобразие. На образе и архитектурном формировании храмов сказывается особое положение США в мировой истории [11].

7. Православные храмы Европы консервативнее, нежели храмы США. Те храмы, что возводились в начале XX века, имеют облик исторических стилизованных фасадов [1].

8. Архитектурный облик отражает региональную стилистику европейской страны. Храмы каноничны, т.к. в основном строились русскими архитекторами, поэтому архитектура представляет собой стиль модерн [1]. Самые необычные для православных храмов примеры представлены поздним периодом. Архитектура культовых сооружений сильно уходит от канонов, и эти объекты могут рассматриваться в виде примера очень аккуратно. Региональная специфика прослеживается в разнообразных фасадах и в интернационализме страны.

9. Современная архитектура европейских православных храмов кардинально отличается от храмов модерна начала XX века. Они имеют лишь некоторые заимствованные элементы с русских православных храмов, а формообразование проектируется на основе католических соборов.

10. Православные храмы в странах мира строились, в основном, русскими миссиями за границей, поэтому передают образ древнерусских церквей. Например, храмы в Бразилии построены в византийском стиле. В Китае многочисленной русской диаспорой храмы выполнены в русском стиле, однако более поздние примеры отражают специфику китайской архитектуры.

11. Новая архитектура православных храмов на территории Австралии и Латинской Америки явно передает особенности тех или иных регионов. Например, Австралия знаменита своими саваннами, что и отражается в облике православных храмов [2].

12. Стоит заметить, что русская православная церковь более консервативная, нежели другие православные церкви. Греческие и сербские православные церкви более свободны и не так привязаны к канонам и традициям.

13. Русские православные храмы Латинской Америки также имеют особенность – из-за плотной застройки храмы размещаются вплотную к ней и могут выделяться небольшим куполом [4].

14. Архитектура храмов на территории России являет собой сокровищницу духовности и традиций Православия. Здесь сосредоточены наиболее канонически верные примеры культового зодчества [10]. До революции последним ярким стилем был модерн (нач. XX века). Эти стилизованные древнерусские формы, со «сказочными» элементами отражают героический прообраз русских былинных сказаний [9]. Архитектура сакральных сооружений страны до сих пор сохраняет традиции и подчиненность историческим стилям Древней Руси. На территории России строительство храмов ведётся по трём направлениям: византийском, русском и европейском (стиле модерн), хотя имеются примеры влияния украинского барокко (рис. 1.).

15. Отечественный опыт проектирования храмов на территории Украины имеет выраженную стилистику – украинское (мазепинское) барокко. В современном проектировании он стилизуется и модернизируется.

Проект главного собора-комплекса Украины представляет собой именно барочные формы в сочетании с классическими. Но этот стиль уместен не в каждом регионе страны. Так, например, в некоторых областях представлены примеры храмов в стиле модерн XX века архитектора Щусева.

ОЦЕНКА	КАТЕГОРИИ И ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ	КАТЕГОРИИ И ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ	
ОЦЕНКА	КАТЕГОРИИ И ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ	КАТЕГОРИИ И ПАРАМЕТРЫ ОЦЕНКИ	
1	Сербия Александровский собор	Христос принимает гробницы и крестовидный архиволос, по своему строительству отличается от других храмов.	Сербия Александровский собор
2	Сербия Манастир	Архитектурный облик, наличие декоративных элементов на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Манастир
3	Россия Храм	Наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
4	Россия Храм	Современный архитектурный облик, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
5	Россия Храм	Формы архитектурного облика, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
6	Бразилия Храм	Наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
7	Россия Храм	Наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
8	Австралия Храм	Наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм
9	Россия Храм	Наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма, наличие архиволоса на фасаде храма.	Россия Храм

1. Храм Пресвятой Богородицы, штат Трансильвания, Сербия.
 2. Храм Святого царя Константина и царицы Елены, Сербия.
 3. Храм Святой Троицы, Россия, Москва.
 4. Церковь Трёх Святых в Алесини.
 5. Церковь Святого Духа в Белостоке, Польша.
 6. Храм Святого Виссариона Сынлекеевского в Бразилии.
 7. Православный храм в Бразилии.
 8. Православный храм в Китае.
 9. Православный храм в Австралии.
 10. Православный храм в Греции.
 11. Православный храм в Латинской Америке.
 12. Православный храм в России.
 13. Церковь Св. Михаила в Мадриде.
 14. Приходская церковь Сергия Инсура Христа в Мюнхене.
 15. Православный храм в Днепродзержинске.
 16. Храм-маяк в Одессе.
 17. Православный храм в Запорожье.
 18. Православный храм в Донецкой области.

■ Наличие архиволоса ■ Наличие архиволоса

Рис. 1. Сравнительные характеристики православных храмов

Современное же проектирование православных храмов только начинает развиваться. Так, в Одессе представлены примеры модернизированного архитектурного облика. В Крыму построен единственный храм-маяк на территории Украины [8].

Каждая область и регион Украины в строительстве сакральной архитектуры имеет свои специфические особенности, что нельзя сказать о сакральной архитектуре Донецкого края. Без сомнения, только реставрацией и реституцией разрушенных храмов церковное зодчество не ограничится.

В работе используется комплексный подход исследования:

- общенаучные методы, которые включают: анализ исторических источников, просмотр литературы, изучение аналогов;
- теоретические методы: индукция и дедукция, анализ и синтез, аналогия и сопоставление, движение от абстрактного к конкретному;
- исторический метод – для изучения исследуемых явлений и процессов в динамическом развитии;
- эмпирические методы: описание, наблюдение, образы и восприятие.

Результатами исследования стало обобщение опыта теоретических и практических разработок в области храмостроения, что позволило сформировать представление о современном состоянии и разных аспектах проблемы формирования региональной идентичности православных храмов в зарубежной и отечественной практике и определить региональную идентичность православных храмов Юго-Востока Украины.

На основе выявления региональной идентичности сформирован комплекс требований к современному проектированию, реконструкции и строительству сакральной архитектуры исследуемого региона (рис. 2).

КОМПЛЕКС ТРЕБОВАНИЙ К СОВРЕМЕННОМУ СТРОИТЕЛЬСТВУ ПРАВОСЛАВНЫХ ХРАМОВ



Рис. 2. Комплекс требований к современному проектированию, реконструкции и строительству ПХ региона

На основе полученных результатов исследования впервые выявлены:

- закономерные отличия зарубежных православных храмов, они имеют более свободную форму и очертания, нежели примеры отечественного строительства [1, 2], так как храмостроение развивалось непрерывно и самостоятельно в контексте местного подхода к церковной архитектуре, пытаясь сохранить отечественные традиции и обновляясь в соответствии с местными и региональными условиями;

- основные черты церкви диаспоры сохранили центрическую композицию, нечётное количество глав, стилистические признаки «казаческого» барокко или храмов Киевской Руси. Это обусловлено рядом причин: европейские страны и Америка выде-

ляют свой новый модернизированный стиль сакральных сооружений и практически полностью отходят от традиций русских православных храмов;

– был проведён анализ по выделению прогрессирующей архитектуры, представленной в капиталистических странах. Этот момент отражается и на современном сакральном строительстве в отечественной практике.

Применение и использование комплекса требований к современному проектированию православных храмов предусматривает наличие в проектных решениях характерных элементов в духе народной архитектуры того народа, который проживает в исследуемом регионе, учитывает конструктивный, функциональный, художественный, экономический и градостроительный аспекты и критерии комплексной оценки качественной интеграции православных храмов в городскую среду Юго-Востока Украины.

Выводы. Проведённое автором исследование зарубежного и отечественного храмостроения позволяет утверждать, что решение существующих проблем в современной практике храмостроения на Юго-Востоке Украины может обеспечить предложенная концепция комплексного регионального подхода к современной сакральной архитектуре исследуемого региона. Предложены эффективные пути решения проблемы за счёт выделения региональных принципов и приёмов формирования образности региональной идентичности.

Автором рассмотрены ключевые задачи в исследовании зарубежного и отечественного опыта сакрального строительства. На основе комплексного анализа исследования сформировано представление о современном состоянии и разных аспектах проблемы, сформирована концепция комплексного регионального подхода к современной сакральной архитектуре исследуемого региона. Разработанные автором и реализуемые в такой форме мероприятия по использованию региональной идентичности позволяют более органично и эффективно решить проблему по сохранению исторического и культурного наследия, а также сохранить храмостроение как современное направление архитектурной деятельности региона.

Список литературы

1. Аскарлов, Ш.Д. Архитектура Запада: Модернизм и постмодернизм. Критика концепций / Ш.Д. Аскарлов [и др.] // ЦНИИИ теории и истории архитектуры. – М.: Стройиздат, 1987. – №6. – С. 182.
2. Геврик, Т. Церковна архітектура української діаспори / Т. Геврик. // Пам'ятки України. – 1991. – №4. – С.34–37.
3. Дерев'яно, І.С. Сучасна храмова архітектура та тенденції її розвитку / І.С. Дерев'яно // Вісник Харківської державної академії дизайну і мистецтв. – Х., 2003. – Вип.№2. – С.16–22.
4. Жовква, О. Основні тенденції у західній сакральній архітектурі / О. Жовква // Сучасні проблеми архітектури та містобудування: Наук.-техн. зб. – Київ: КНУБА, 2006. – Вип.16. – С.291–296.
5. Иконников, А.В. Зарубежная архитектура от новой архитектуры до постмодернизма / А.В. Иконников. – М.: Стройиздат, 1982. – 256 с.
6. Культурні будинки та споруди різних конфесій: Посібник з проектування / за ред. В.В. Куцевича. – Київ: Київ ЗНДІП, 2002. – 118 с.
7. Ліпуга, Р.М. Практика приспособлення існуючих будівель під православний храм на південному сході України / Р.М. Ліпуга // Традиції та новації вищої архітектурно-художньої освіти. – Х.: ХДАДМ, 2012. – №6. – С. 163–165.
8. Соченко, В.І. Діалектика історико-культурної спадкоємності в архітектурі та актуальні питання сучасного храмобудування в Україні / В.І. Соченко // Перспективні напрямки проектування житлових та громадських будівель: Сучасне храмобудування : Зб. Наук. Пр. – Київ: Київ ЗНДІП. – С.16-22.
9. Скорик, Л.П. Вибираємо Відродження / Л.П. Скорик // Пам'ятки України. – 1991. – №5. – С.52–53.

10. Стёпкин, Б.П. Иллюстрированная история Юзовки-Сталино-Донецка. Со времён основания города до 1949 года / Б.П. Стёпкин. – Д.: АПЕКС, 2007. – 252 с.
11. Томин, П.А. Русский Крещнах и донецкая Ривьера / П.А. Томин // Исто. Вестник. – ТИП. А.С.Суворина, 1912. –Т.СХХVIII.
12. Ulrike Schober unter Mitarbeit von Brigitt Dobert und Simone Harland. Naumann & Gobel Verlagsgesellschaft mbH, Koln / U. Schober // [перев. с нем. А.В. Волкова]. – Russian edition. – 2007. – 480 с.

References

1. Askarov, Sh.D. Architecture of the West: Modernism and postmodernism. Criticism of the concepts / Sh.D. Askarov [etc.] // Research Institute of Theory and History of Architecture. – М.: Stroizdat, 1987. – No.6.– P. 182.
2. Gevrick, T. The Church Architecture of the Ukrainian Diaspora / T. Gevrick. // Monuments of Ukraine. – 1991. – No.4. – P.34–37.
3. Derevyanko, I.S. The Modern Church Architecture and Trends of its Development / I.S. Derevyanko // Herald of the Kharkiv State Academy of Design and Arts. – Kharkiv, 2003. – Vol. 2. – P.16–22.
4. Zhovckva, O. The Principal Trends in the West Sacral Architecture / O. Zhovckva // The Current Problems of Architecture and Town Planning: Sci.-tech. collected papers. – Kyiv: KNUBA, 2006.– Vol.16. – P.291–296.
5. Ikonnikov, A.V. The Foreign Architecture from New Architecture up to Postmodernism / A.V. Ikonnikov. – М.: Stroizdat, 1982. – 256 p.
6. Buildings and Structures for Public Worship of Different Confessions / ed. V.V. Kutsevich. – Kyiv: Kyiv ZNDPEP, 2002. – 118 p.
7. Lipuga, R.M. Practice of Adapting Existing Buildings for the Orthodox Church at the North-East of Ukraine / R.M. Lipuga // Traditions and Innovations of the Higher Architecture-Artistic Education. – Kharkiv: KhDADM, 2012. – Vol.6. – P. 163–165.
8. Sochenko, V.I. Dialectics of Historic and Cultural Continuity in Architecture and Actual Issues of Modern Church Construction in Ukraine / V.I. Sochenko // The Prospective Directions of Designing Residential and Public Buildings: the Modern Church Construction: Coll. Papers. – Kyiv ZNDIEP. – P. 16–22.
9. Skorik, L.P. Vibiralmo Vidrozhdennya / L.P. Skorik // Pam'yatki UkraWni. – 1991. – 5. – P.52–53.
10. Styopkin, B.P. The History of Yuzovka-Stalino-Donetsk in Pictures and Illustrations. Since the Foundation of the Town up to 1949 / B.P. Styopkin. – Д.: АПЕКС, 2007. – 252 p.
11. Tomin, P.A. Russian Kretsnakh and Donetsk Riviera / P.A. Tomin // Historical Herald. – ТИП. А.С. Суворин, 1912. – Vol.CXXVIII.
12. Ulrike Schober unter Mitarbeit von Brigitt Dobert und Simone Harland. Naumann & Gobel Verlagsgesellschaft mbH, Koln / U. Schober // [Translated from German by A.V. Volkov]. – Russian edition. – 2007. – 480 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

Кутай Евгений Петрович,
аспирант кафедры «Градостроительство»
E-mail: kutayevg@gmail.com

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Kutay Evgeniy Petrovich,
Postgraduate of the department «Urban
planning»
E-mail: kutayevg@gmail.com

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Е.П. Кутай

Рассматривается вопрос преемственности проектов детальной планировки на примере центральной части города Пензы.

Ключевые слова: реконструкция центра города, детальная планировка, реализация проектов

CONTINUITY OF URBAN PLANNING

E.P. Kutay

The question of detailed planning projects continuity on the example, of Penza centre is examined in this article.

Keywords: city center reconstruction, scheme of detailed planning, realization of projects

Введение

Исследовались три проекта детальной планировки (ПДП) центра города Пензы (рис. 1): проекты, выполненные в 1964 и 1974 годах институтом «Гипрогор», и ПДП 1988 года, разработанный ЦНИИП градостроительства, включая эскизы реконструкции и «Рекомендации по развитию застройки центрального района города Пензы», подготовленные в 1984-88 годах ЦНИИП градостроительства и пензенскими архитекторами в ходе разработки ПДП центра города (1988 год).

Несмотря на различия в подходах к проектированию, в понимании оптимальной застройки центра города и в отношении к исторической среде, ПДП имеют сходства в общем размещении функциональных зон и основных композиционных осей, а также сходные проектные предложения, которые по ряду причин не реализовываются в период действия одного ПДП и переходят в другие. Основная проблема воплощения генпланов и проектов детальной планировки – это их чрезмерная оптимистичность [1, с.41], отсюда – оторванность от реальных возможностей города, ошибки в прогнозах роста населения, использование типовых градостроительных решений. В проектах часто закладывались столь амбициозные решения, на воплощение которых потребовалось бы 25 лет. Часто в проектах предусматривалось за сжатый срок изменение большей части городской территории (характерная черта ПДП 1960-70-х годов). Городу же в условиях ограниченного бюджета и ресурсов из множества проектных предложений приходилось выбирать более насущные и к тому же менее затратные.

Исследования были направлены на выявление сходных проектных решений, к которым приходили специалисты разных институтов в разное время, но при этом не реализованных по сей день. Некоторые проекты разрешают существующие городские проблемы и могут быть использованы в современном планировании.

1. Проект Центрального парка

Во всех трех проектах детальной планировки (рис.2) подчеркивалось, что городу не хватает раскрытия на реку Суру. В начале 1960-х годов уже обустроивались сквер

на ул. Славы и набережная от ул. Бакунина до ул. М.Горького. В пояснительной записке к ПДП 1974 года эта проблема вынесена как одно из пяти основных требований к проекту. В ПДП центра города разных годов проекты центрального парка и устройства набережной имеют больше сходств, чем различий.

На месте деревянных построек между ул. Урицкого и набережной предусматривался парк, в котором должен быть создан культурно-просветительский центр, раскрытый на Суру. По ПДП 1974 года, например, здесь планировалось возвести здания филармонии, детского театра, кинотеатра, Дома молодежи, Дворца бракосочетаний, Дома моделей.

На острове Пески также предполагалась разбивка парка. В нем должны были располагаться спортивные объекты. Правый берег до железнодорожной линии – это зона отдыха.

Главное отличие ПДП центра города 1974 года в том, что центр рассматривался в более широких границах, т.е. включал в себя не только правый берег реки Суры, но и территорию за железной дорогой, где должен был расположиться новый крупный комплекс жилых и общественных зданий. То есть фактически парк был окружен плотной застройкой, что обеспечивало бы его посещаемость, людность и транзит. Также через Центральный парк на о. Пески должна была проходить вторая главная пешеходная (она же композиционная) ось города, которая прочерчивалась от проектируемой высотки Дома Советов на Советской площади к новому центральному жилому району на правом берегу Суры [2]. ПДП 1988 года включал только прибрежную часть правобережья; поэтому автор не может судить о том, как решалась территория города южнее железной дороги.

За пятьдесят лет, прошедших с утверждения ПДП 1964 года, проект так и не был реализован. Такие решения требовали больших денежных вложений, т.к. необходимо было расселить и снести жилье на большой территории (проектируемая площадь парка на о.Пески 28 га [2]), укрепить берега и навести мосты.

Проблемой также являлось обеспечение удобного сообщения центрального парка с основной застройкой правого берега, так как их разделяет мощный железнодорожный узел с производственными зданиями. По ПДП 1974 года предполагался вынос железнодорожной сортировочной станции за пределы центра. Без проведения этих мероприятий парк на о. Пески оказался бы на окраине центрального района, т.е. практически лишился бы транзитных потоков. Как отмечает А.Э. Гутнов: «Оживленность, людность, высокая посещаемость позволяют безошибочно определить принадлежность того или иного пространства к городскому центру» [1, с.31].

2. Вынос производственных предприятий за пределы центра города

Предусматривался всеми проектами, но так и не был осуществлен из-за дороговизны переноса. Кроме того, территории некоторых предприятий и комплексов НИИ с производством увеличивались. Лишь в 1990-е годы со сменой экономической модели государства ситуация изменилась. Некоторые предприятия либо прекратили свое существование, либо вследствие тяжелого финансового положения были вынуждены сдавать помещения в аренду. Так, постепенно производственные корпуса и помещения конструкторских бюро стали переоборудоваться под офисы и торговые центры; большие территории, некогда отгороженные забором, стали частью городской среды, открылись для большинства жителей города, к тому же это повлияло и на экологию. Можно привести следующие примеры такого преобразования: часть корпусов завода «Автомедтехника» реконструирована в торговый центр и офисы «Красные холмы», корпуса НИИВТ – в «Бизнес-центр на Дворянской» и жилой дом, мебельный комбинат на ул. Суворова – в ТЦ «Муравейник», помещения мебельного комбината на ул. Гладкова сейчас занимают различные офисы и строительные магазины, совсем недавно на территории завода «КОММАШ» также был открыт строительный магазин.

Однако до сих пор на территории центра города в жилой застройке функционирует ряд предприятий (дрожжевой завод, пивоваренный завод «Самко»), вопрос переноса которых до сих пор не решен.

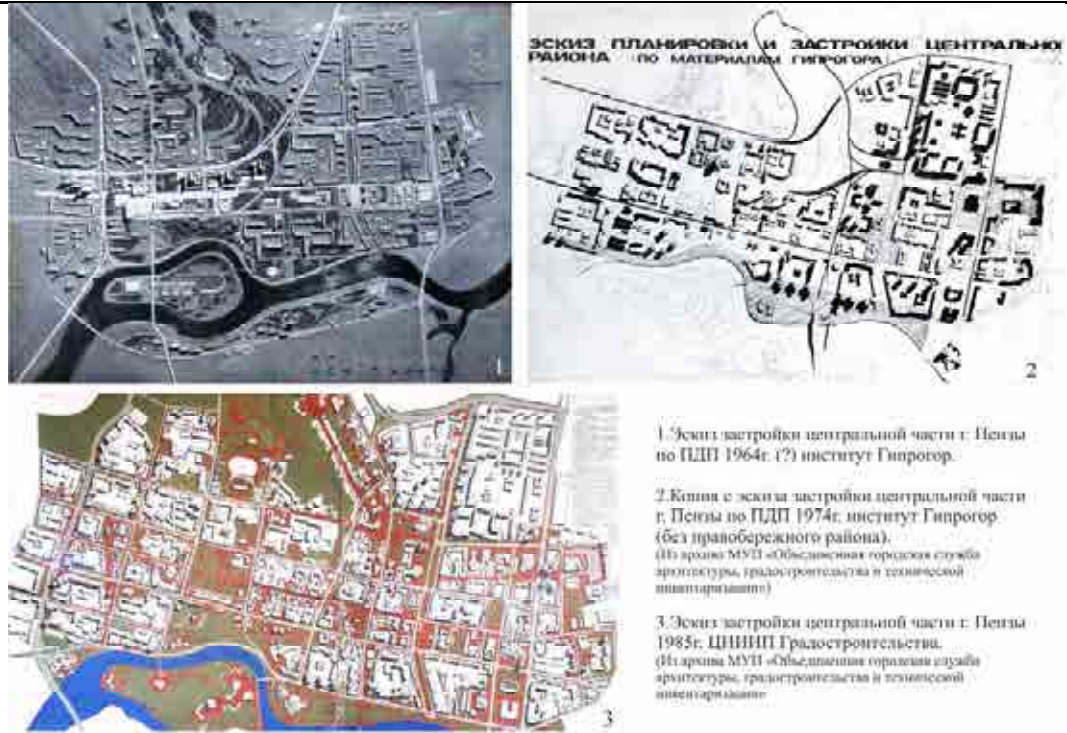


Рис. 1. ПДП 1964, 1974 гг. (Институт «Гипрогор»), эскиз ПДП 1985 г. (ЦНИИП градостроительства)



г. Пенза проект детальной планировки центральной части 1974г. (Из книги Р.Н. Попрядухина «делать город не просто») Красным - Центральный парк и набережные. Зеленым - главные композиционные оси (пешеходные)

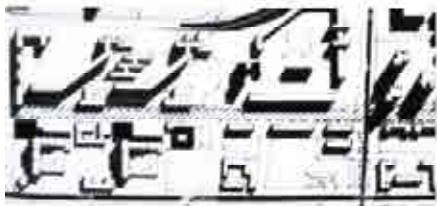
Центральный парковый комплекс, Гипрокоммунстрой. Автор Е. Носов. (Из книги Р.Н. Попрядухина «делать город не просто»)



Копия с эскиза застройки центральной части г. Пензы 1974г. Фрагмент с Центральным парком (Из архива МУП «Объединенная городская служба архитектуры, градостроительства и технической инвентаризации»)

Эскиз застройки центральной части г. Пензы 1985г. Фрагмент с Центральным парком (Из архива МУП «Объединенная городская служба архитектуры, градостроительства и технической инвентаризации»)

Рис. 2. Парк «Центральный» по ПДП 1974, эскизу ПДП 1985 гг.



Копия с эскиза застройки центральной части г. Пензы 1974г. Фрагмент с ул. Московской от К. Маркса до М. Горького. (Из архива МУП «Объединенная городская служба архитектуры, градостроительства и технической инвентаризации»)



ул. Московская. Р.Н. Попрядухин. (Из книги Р.Н. Попрядухина «делать город не просто»)



Предложение по реконструкции ул. Московской 1985г. Фрагмент между К. Маркса и М. Горького. Характер застройки кардинально отличен от проекта 1974 года, сохранение и восстановления исторического фронта застройки. (Из архива МУП «Объединенная городская служба архитектуры, градостроительства и технической инвентаризации»)

Рис. 3. Проекты реконструкции ул. Московской, 1974–1985 гг.



Проект застройки ул. Плеханова макет. Вид от Привокзальной площади. Красным выделен торговый центр. (Из книги Р.Н. Попрядухина «делать город не просто»)

Эскиз застройки центральной части г. Пензы 1985г. Фрагмент с торговым центром. (Из архива МУП «Объединенная городская служба архитектуры, градостроительства и технической инвентаризации»)

Фрагмент существующей застройки с торговым центром, спутниковая съемка Google.

Рис. 4. Эскиз застройки центра г. Пензы, 1974 – 1985 гг.

3. Пешеходная зона на ул. Московской

Во всех проектах отмечалась роль ул. Московской как главной композиционной оси, соединяющей две административные площади города – старую (Соборная, ныне Советская) и новую (пл. Ленина). Эта связь должна быть пешеходной. При этом ПДП 1964 года предусматривал снос застройки между улицами Московской и Кирова с целью устройства параллельно им пешеходной эспланады со строительством новых общественных зданий, в том числе с торговым центром [4, с.35]. В ПДП 1974 года проектировщики отказываются от строительства эспланады и делают саму ул. Московскую пешеходной зоной, на юге она продолжается улицей Богданова. При этом на улицах сохраняется всего несколько зданий дореволюционной застройки. Проект был осуществлен лишь частично из-за необходимости сноса капитальной застройки.

К 1980 г. изменился подход к исторической застройке. Проектировщики стали считать ценными не только отдельные здания-памятники, но историческую среду. При

реконструкции благодаря сохранению исторических зданий можно достичь даже большей концентрации общественных функций при меньших затратах, чем при новом строительстве. На этих принципах разрабатывалась концепция комплексной реконструкции ул. Московской 1985-1988 гг. (рис. 3), которая в основном была реализована. Улица наконец стала пешеходной, исторические здания были реконструированы, подвалы и первые этажи отданы под общественные функции, увеличивалась плотность застройки за счет нового строительства домов средней этажности в глубине кварталов.

4. Новый крупный торговый центр на ул. Суворова

Рассмотрим еще один небольшой проект. ПДП центра г. Пензы 1974 и 1988 годов предполагали строительство торгового центра (рис.4) в границах улиц Суворова, Плеханова, Бакунина и пешеходной связи в продолжении ул. Гладкова. Именно на этом месте в 2000-х годах был построен торговый центр «Сан и Март». Следовательно, в проектах было заложено верное решение, к которому пришли застройщики и администрация города по истечении длительного времени. В целом необходимость в торговом центре в данном месте не отпала, а наоборот – возросла.

Выводы

Несмотря на то, что проекты детальной планировки центра города Пензы разрабатывались авторскими коллективами двух институтов в разное время, с использованием различных подходов, можно отметить сходство в некоторых проектных решениях. Данные решения назовем устойчивыми. В статье рассмотрено 4 подобных проектных предложения. Из трех нереализованных можно вывести следующие рекомендации по развитию центра Пензы.

1. Набережную р. Суры развивать как сквер с расположенными внутри культурно-просветительскими учреждениями. На о. Пески должен находиться Центральный парк. Данное предложение сейчас трудно воплотимо, но потребность в этом проекте может возрасти при развитии застройки правого берега Суры.

2. Производственные предприятия, в первую очередь имеющие широкую ССЗ (дрожжевой завод, пивоваренный завод «Самко»), следует вынести за пределы центрального района.

3. Необходимо продлить пешеходную зону по ул. Московской и до ул. К. Маркса.

Полагаем, что при новом проектировании и решении вопросов развития центра Пензы надо учитывать устойчивые проектные предложения прежних лет.

Список литературы

1. Гутнов, А.Э. Эволюция градостроительства / А.Э. Гутнов. – М.: Стройиздат, 1984. – 256 с.
2. ПДП центра г. Пензы 1974 г., мастерская №4 / авторы проекта: архитекторы Постнов В.П., Алпатов Д.В., Вавкин Л.В., Попрядухин Р.Н., главный экономист Орловская Л.С. – М.: Институт «Гипрогор», 1974г. (на правах рукописи).
3. Попрядухин, Р.Н. Делать город не просто / Р.Н. Попрядухин. – Пенза: Типография ИП Поповой М.Г. «Копи-Ризо», 2012. – 300 с.
4. Рекомендации по развитию застройки центрального района города Пензы: в 2 т. – М.: ЦНИИП градостроительства, 1985. – 130 с. (на правах рукописи).

References

1. Gutnov, A.E. Evolution of urban planning / A.E. Gutnov. – M.: Stroyizdat, 1984. – 256 p.
2. Penza city centre detailed planning project 1974 year, 4-th workshop / the authors of the project: architects Postnov V.P., Vavkin L.V., Popryadukchin R.N., chief economist – Orlovskaya L.S. – M.: The Institute «Giprogor», 1974.
3. Popryadukchin, R.N. Doing City Is Not Simply / R.N. Popryadukchin – Penza. Typography IP Popovoy M.G. «Copy-Rizo», 2014. – 300 p.
4. Recommendations For The Development Of Building The Central Part Of Penza. – M.: TSNIP Urban Planning, 1985. – 130 p.

ЭКОНОМИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ECONOMICS AND MANAGEMENT

УДК 338.984

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

Хрусталеv Борис Борисович,
доктор экономических наук, профессор,
зав. кафедрой «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Учаева Татьяна Владимировна,
старший преподаватель 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

Khrustalev Boris Borisovich,
Doctor of Economics, Professor, Head of the
Department «Economics, Organization and
Management»
E-mail: hrustalev_bb@mail.ru

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Senior lecturer of the department «Economics,
Organization and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ПРИМЕРЕ ПЕНЗЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

Б.Б. Хрусталеv, Т.В. Учаева

Проведен анализ деятельности предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области, определены факторы, влияющие на организационно-экономический потенциал предприятий, на основе которых разработана многофакторная модель оценки организационно-экономического потенциала, даны рекомендации по повышению потенциала предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области.

*Ключевые слова: организационно-экономический потенциал, предприятия промышленно-
сти строительных материалов, оценка потенциала, модель оценки*

EVALUATION OF THE INSTITUTIONAL AND ECONOMIC POTENTIAL OF CONSTRUCTION MATERIALS INDUSTRY ENTERPRISES ON THE EXAMPLE OF THE PENZA REGION

B.B. Khrustalev, T.V. Uchaeva

The analysis of enterprises of building materials industry of the Penza region is made, the factors influencing the organizational and economic potential of enterprises, which are developed on the basis of multifactorial evaluation model of organizational and economic potential are defined, recommendations on capacity building construction materials industry enterprises of the Penza region are given.

*Keywords: organizational and economic potential, the company building materials industry,
capacity assessment, evaluation model*

Анализ состояния деятельности предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области свидетельствует, что их организационно-экономический потенциал остается не очень высоким из-за большой доли изношенности оборудования, низкого качества выпускаемой продукции, недозагруженности производственных мощностей, низкой квалификации работников, оторванности предприятий от местной минерально-сырьевой базы, управления производственным процессом без учета его стабильности и воспроизводимости. В связи с этим модели оценки организационно-экономического потенциала предприятия и разработка рекомендаций по его повышению является актуальной задачей.

Для выявления наиболее значимых факторов, определяющих организационно-экономический потенциал предприятий промышленности строительных материалов, был применён метод экспертных оценок. В выборку вошли специалисты строительной сферы, учёные-экономисты, количество которых составило 30 человек.

Установлено, что наиболее значимыми являются следующие факторы: трудовой потенциал, финансовые ресурсы, инфраструктура, производственная среда, информационная среда, маркетинговый потенциал, состояние производственного процесса, интеллектуальный потенциал (табл.1).

На основе метода экспертных оценок разработана многофакторная модель оценки организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов, основанная на учете следующих нормативных составляющих: трудовой потенциал Q_1 , финансовые ресурсы Q_2 , инфраструктура Q_3 , производственная среда Q_4 , информационная среда Q_5 , маркетинговый потенциал Q_6 , состояние производственного процесса Q_7 , интеллектуальный потенциал Q_8 .

$$K_{\Pi} = \alpha_1 Q_1 + \alpha_2 Q_2 + \alpha_3 Q_3 + \alpha_4 Q_4 + \alpha_5 Q_5 + \alpha_6 Q_6 + \alpha_7 Q_7 + \alpha_8 Q_8, \quad (1)$$

где α – коэффициенты весомости каждого фактора.

Для количественной оценки влияния выявленных факторов на повышение организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов была разработана система частных, комплексных и интегральных показателей.

Установлено, что наиболее значимыми факторами являются состояние производственного процесса ($\alpha=0,166$), финансовые ресурсы ($\alpha=0,170$), управление ($\alpha=0,175$).

Максимальная оценка потенциала предприятия может составлять $K_{\Pi} = 5,0$.

Использование потенциала предприятия предложено рассчитывать по формуле

$$Y_{\text{пред}} = \frac{K_{\Pi}}{K_{\text{max.}\Pi}}. \quad (2)$$

В табл.2 приведены основные признаки ситуации при различных значениях уровня использования потенциала предприятия.

В зависимости от числового значения потенциала и уровня использования потенциала должны быть разработаны мероприятия по повышению организационно-экономического потенциала предприятия. Работа предприятия в условиях уровня использования потенциала, равного $Y_{\text{пред}}=0,75-1,0$, характеризуется высокой степенью стабильности, растущей прибылью, оптимальными затратами предприятия, стремящимися к максимальным значениям показателями эффективности деятельности.

При уровне использования потенциала, равном $Y_{\text{пред}} \geq 0,5$, имеется возможность за счет использования инвестиций, совершенствования технологии, использования статистических методов контроля и управления качеством продукции повысить прибыльность, снизить издержки производства.

При значении уровня использования потенциала, равном $Y_{\text{пред}} \leq 0,25$, предприятие не жизнеспособно.

При ограниченных финансовых резервах значительные возможности существуют во внедрении статистических методов управления качеством продукции, что позволяет предотвратить появление брака продукции. Необходимо добиваться, чтобы производственный процесс характеризовался стабильностью и воспроизводимостью [1–4].

Т а б л и ц а 1

Внутренние факторы, характеризующие организационно-экономический потенциал предприятия

Профессионально-квалификационный потенциал	Состояние информационной среды	Финансовый потенциал	Состояние производственной среды	Инфраструктура	Интеллектуальный потенциал	Маркетинговый потенциал	Состояние производственного процесса
<p>1. <i>Уровень образования, %: – неполное среднее; – среднее; – среднее специальное и неполное высшее; – высшее</i></p> <p>2. <i>Усилия организации по повышению профессиональной подготовки работников</i></p> <p>3. <i>Стаж работы</i></p>	<p>1. Степень овладения кадрами современными средствами вычислительной техники</p> <p>2. Широта охвата функций управления компьютерными программами</p> <p>3. Результативность использования возможностей компьютерной и оргтехники</p> <p>4. Состав, количество и вид информации Каналы получения, передачи информации</p> <p>5. Время получения, передачи оперативной информации</p> <p>6. Качество и достоверность полученной информации</p> <p>7. Информационная обеспеченность производственных процессов</p>	<p>1. Структура денежных потоков и инвестиций предприятия</p> <p>2. Источники инвестиций в предприятие</p> <p>3. Финансовая устойчивость предприятия</p> <p>4. Уровень рентабельности и прибыли на предприятиях</p> <p>5. Платежеспособность предприятий, поставщиков, инвесторов, заказчиков</p> <p>6. Размер инвестиций и финансовых средств</p> <p>7. Инвестиционная политика предприятия</p> <p>8. Суммарные затраты и размер инвестирования на создание, развитие и содержание объектов социальной сферы</p> <p>9. Затраты на содержание и функционирование всех ресурсов при создании социальной сферы</p> <p>10. Виды эксплуатационных затрат на содержание объектов социальной сферы</p>	<p>1. Оптимальное расположение рабочих мест</p> <p>2. Социальное взаимодействие</p> <p>3. Санитарные условия</p> <p>4. Температура, влажность, освещение рабочего места</p>	<p>1. Производственное помещение</p> <p>2. Средства труда и оборудование</p> <p>3. Вспомогательные службы</p> <p>4. Информационные и коммуникационные технологии</p> <p>5. Транспортные средства</p>	<p>1. Количество рационализаторских предложений по улучшению деятельности организации в отношении к численности персонала, шт</p> <p>2. Количество ежегодно реализуемых мероприятий, предусмотренных организационно-техническими планами и программами, шт</p> <p>3. Удельный вес новой продукции в общем объеме продаж, %</p> <p>4. Количество лицензий, патентов, изобретений, торговых марок, промышленных образцов, шт</p>	<p>1 Оценка сильных и слабых сторон конкурентов</p> <p>2 Оценка удовлетворенности потребителей</p> <p>3 Выявление потенциальных рынков</p> <p>4 Оценка текущих возможностей</p>	<p>1 Уровень организации и управления на производственных процессах</p> <p>2 Тип организационно-функциональной структуры управления предприятия</p> <p>3 Количественный состав управленческих кадров</p> <p>4 Форма собственности предприятий</p> <p>5 Стабильность и воспроизводимость процесса</p> <p>6 Степень загруженности производственных фондов</p>

Уровень использования потенциала предприятия

Значение $U_{\text{пред}}$	Основные признаки ситуации
0,75–1,0	Высокий уровень использования потенциала к предприятия; Стабильность производственной и социальной ситуации в производстве; Минимальные дополнительные издержки производства, незначительные сбои и отказы системы при создании конечной продукции; Высокая прибыль
0,75–0,5	Рост дополнительных издержек производства и наличие в системе сбоев и отказов; Средний уровень использования потенциала конкурентоспособности предприятия; Низкая степень стабильности обеспечения показателей качества продукции; Низкая степень стабильности производственной и социальной ситуации
0,5–0,25	Рост дополнительных издержек производства и наличие в системе сбоев и отказов; Низкий уровень использования потенциала конкурентоспособности предприятия; Низкая степень стабильности обеспечения показателей качества продукции; Низкая степень стабильности производственной и социальной ситуации

Внедрение статистических методов управления качеством продукции должно сочетаться с внедрением и совершенствованием технологических процессов и считаться экономически нецелесообразным, если расходы на управление и убытки от брака после внедрения статистических методов меньше, чем до их внедрения. Конечной целью внедрения статистических методов управления качеством продукции является оптимизация производственных процессов и производства в целом для значительного повышения эффективности производства, качества продукции, культуры производства, квалификации специалистов и т.д.

Внедрение статистических методов управления качеством продукции на предприятии является сложной проблемой и зависит от многих как внутренних, так и внешних факторов. Поэтому процесс осуществляется по этапам. На рис.1 приведены этапы, определяющие последовательность действий служб и производственных подразделений при внедрении статистических методов управления качеством на предприятии.

В соответствии с моделью (1), (2) на основе статистических данных, полученных при анализе деятельности предприятий в период с 2010 по 2013 гг., была дана оценка организационно-экономического потенциала некоторых предприятий промышленности строительных материалов Пензенской области и уровня его использования, если применять статистические методы контроля и управления качеством продукции (табл.3).

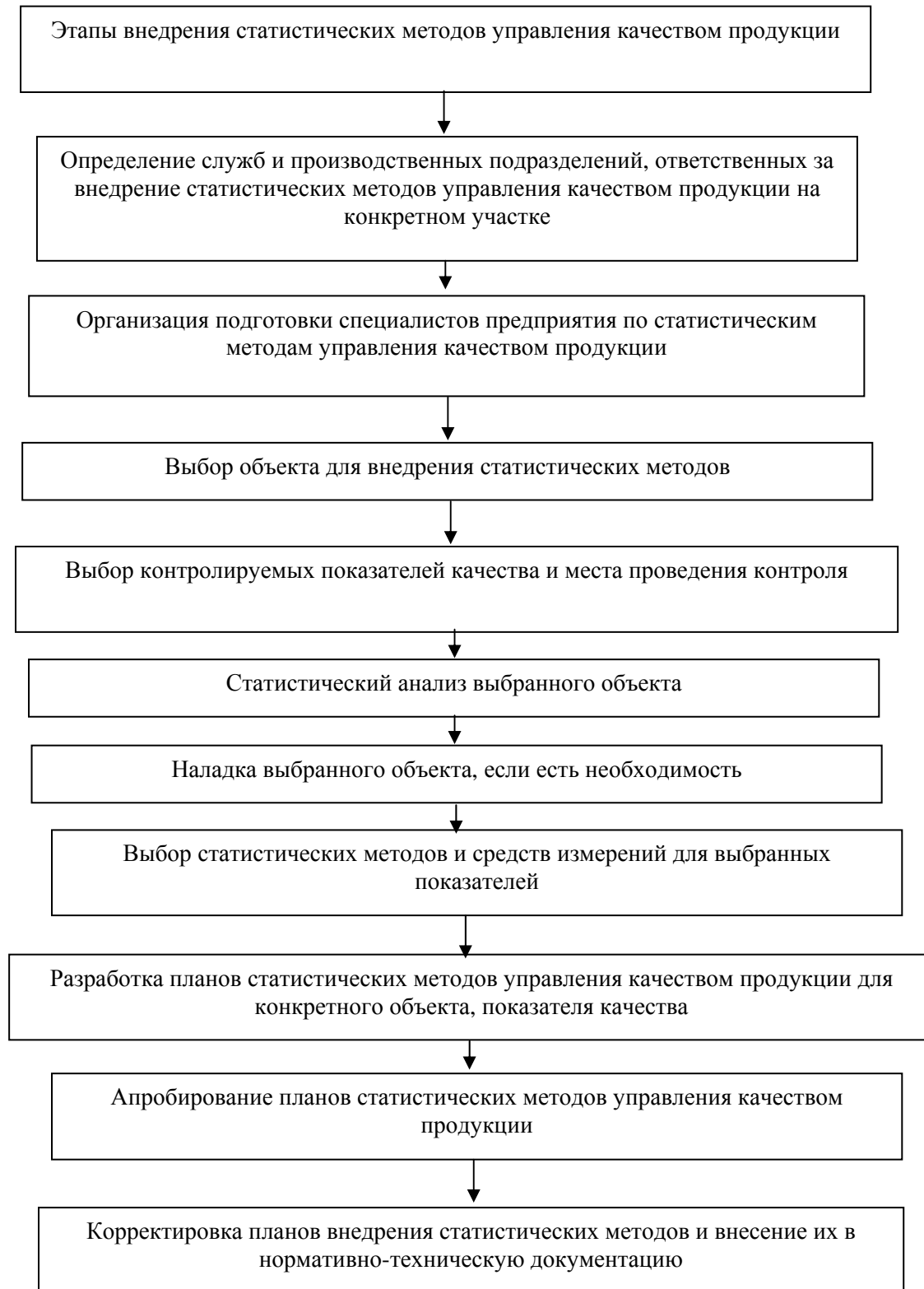


Рис. 1. Этапы внедрения статистических методов управления качеством

Уровень использования организационно-экономического потенциала предприятий промышленности строительных материалов

Наименование предприятия	Модель динамики уровня использования потенциала	Годы					
		2010	2011	2012	2013	2014*	2015*
ОАО «ЖБК-1»	$Y=0,724+0,0255x^{**}$	0,724	0,74	0,784	0,8	0,826	0,8525
ОАО «Домостроитель»	$Y=0,61+0,0045x$	0,61	0,615	0,619	0,624	0,628	0,6325
ООО «Строительные материалы»	$Y=0,41+0,025x$	0,41	0,416	0,46	0,485	0,51	0,535
ОАО «Карьероуправление»	$Y=0,39+0,0085x$	0,39	0,4	0,407	0,575	0,424	0,4325

П р и м е ч а н и я . *В таблице приведены прогнозные значения потенциала (на 2014 и 2015 годы), рассчитанные в соответствии с моделью. x – время, годы.

Анализ данных, приведенных в табл.3, свидетельствует, что применение статистических методов управления качеством продукции позволило предприятию ОАО «ЖБК-1» увеличить свой потенциал с 0,724 до 0,8 и по прогнозам в 2015 году до 0,8525. Для ОАО «Карьероуправление» повышение уровня использования потенциала за счет применения статистических методов в период с 2010 до 2013 года составляет 47,4 %

Таким образом, применение статистических методов управления качеством продукции позволит предприятию повысить уровень использования организационно-экономического потенциала предприятия и его конкурентоспособность.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50779.44–2001. Статистические методы. Показатели возможностей процессов. Основные методы расчета. – Введ. 2002-01-07. – М.: Изд-во стандартов, 2001. – 16 с.
2. ГОСТ Р 50779.40–96. Статистические методы. Контрольные карты. Общее руководство и введение. – М.: Изд-во стандартов, 1996.
3. Логанина, В.И. Статистическое управление производством строительных изделий / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталева, Т.В. Учаева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013. – №1/3(61). – С.65–67.
4. Логанина, В.И. Формирование механизма управления потенциалом конкурентоспособности предприятий промышленности строительных материалов / В.И. Логанина, Б.Б. Хрусталева, Т.В. Учаева // Технологии бетонов. – 2013. – №3. – С. 44–46.

References

1. GOST R 50779.44–2001. Statistical methods. Process capability indices. Basic methods of calculation. – Introduced. 2002-01-07. – М.: Standards Press, 2001. – 16 p.
2. GOST R 50779.40–96. Statistical methods. Checklists. General management and administration. – М.: Publishing House of the standard Comrade, 1996.
3. Loganina, V.I. Statistical Office Building Products / V.I. Loganina, B.B. Khrustalyov, T.V. Uchaeva // East European Journal of advanced technology. – 2013. – № 1/3 (61). – P.65–67.
4. Loganina, V.I. Formation mechanism of managing the potential competitiveness of the industry of building materials / V.I. Loganina, B.B. Khrustalyov, T.V. Uchaeva // Technology of concrete. – 2013. – № 3. – P. 44–46.

УДК 656.135.073

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

Домке Эдуард Райнгольдович,
кандидат технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Организация и
безопасность движения»

Жесткова Светлана Анатольевна,
кандидат технических наук, ст.
преподаватель кафедры «Организация
и безопасность движения»

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Domke Eduard Raingoldovich,
Candidate of Sciences, Professor, Head of the
department «Traffic organization and safety»

Zhestkova Svetlana Anatolyevna,
Candidate of Sciences, senior lecturer of the
department «Traffic organization and safety»

ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТОВ ПРИ ТРАНСПОРТИРОВКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Э.Р. Домке, С.А. Жесткова

Предложено решение задачи маршрутизации транспорта, позволяющее определять оптимальные маршруты на основе использования метода фиктивных узлов и ветвей при транспортировке строительных грузов на автомобильном транспорте.

Ключевые слова: фиктивные узлы, маршрут, транспортировка, строительный груз, автомобильный транспорт

OPTIMIZATION OF ROUTES IN THE TRANSPORTATION OF CONSTRUCTION MATERIALS BY ROAD TRANSPORT

E.R. Domke, S.A. Zhestkova

The article proposes a solution of the transport routing problem which will help to define the best routes using the method of fictitious nodes and branches during transportation, of construction materials by road transport.

Keywords: dummy nodes, route, transport, construction materials, automobile transport

Строительство является одной из самых материалоемких отраслей народного хозяйства. Строительные материалы и конструкции составляют 60-65 % сметной стоимости строительно-монтажных работ. Автомобильный транспорт, на долю которого приходится свыше 80 % общего объема перевозок строительных грузов, является составным элементом большинства технологических процессов при возведении зданий и сооружений.

Основная задача транспорта в строительстве – своевременная доставка материалов и изделий на склады строительных площадок и предприятий строительной индустрии при условии эффективного использования подвижного состава на оптимальных маршрутах.

На сегодняшний день организация перевозок строительных грузов автомобилями связана с высокой себестоимостью транспортирования и низкой производительностью перевозочного процесса, что вызвано прежде всего нерациональной организацией перевозочного процесса, следствием чего является увеличение транспортной работы из-за перепробега. Кроме того, с увеличением транспортной работы наблюдается значительный рост эколого-экономического ущерба от выброса в атмосферу вредных веществ с отработанными газами.

Одним из способов снижения указанных недостатков является оптимизация доставки грузов от грузообразующих пунктов к грузопотребляющим с применением

математических моделей и программных продуктов вместо интуитивных, зачастую неоптимальных, управленческих и организационных решений.

В связи с увеличением объёма перевозок строительных грузов и количества используемых для этого автомобилей, ведутся активные поиски решения задачи маршрутизации транспорта на основе известных методов: Кларка-Райта, ветвей и границ, разрешающих множителей, динамического программирования, потенциалов и др.

Для определения оптимального маршрута при перевозке массовых однородных строительных грузов (щебень, кирпич, железобетонные блоки и плиты) между грузопоглощающими (строительные объекты, склады) и грузообразующими (карьеры, заводы ЖБИ, кирпичные заводы) пунктами можно использовать метод фиктивных узлов и ветвей. Данный метод позволяет посещать вершины и использовать дуги между ними в транспортном графе несколько раз. В целом он более правильно отражает организацию перевозочного процесса строительных грузов.

Основной задачей данного метода является определение нескольких радиальных маршрутов, выходящих из одного центра (склада), который часто встречается при развозке строительных грузов. Обрато автомобиль совершает холостой пробег по самому короткому маршруту, который может быть найден методом «метлы».

Рассмотрим решения задачи на примере, показанном на рис. 1а. Исходная матрица расстояний для транспортного графа приведена в табл. 1. Требуется определить два радиальных маршрута из пункта B_1 до пунктов B_2 и B_3 , чтобы их суммарная длина была минимальной.

Т а б л и ц а 1

	B_1	B_2	B_3	4	5	6	7	8
B_1				5	1	4	10	8
B_2				11	8	7	2	6
B_3				3	12	5	6	8
4	5	11	3		6	3	7	9
5	1	8	12	6		4	5	1
6	4	7	5	3	4		2	8
7	10	2	6	7	5	2		6
8	8	6	8	9	1	8	6	

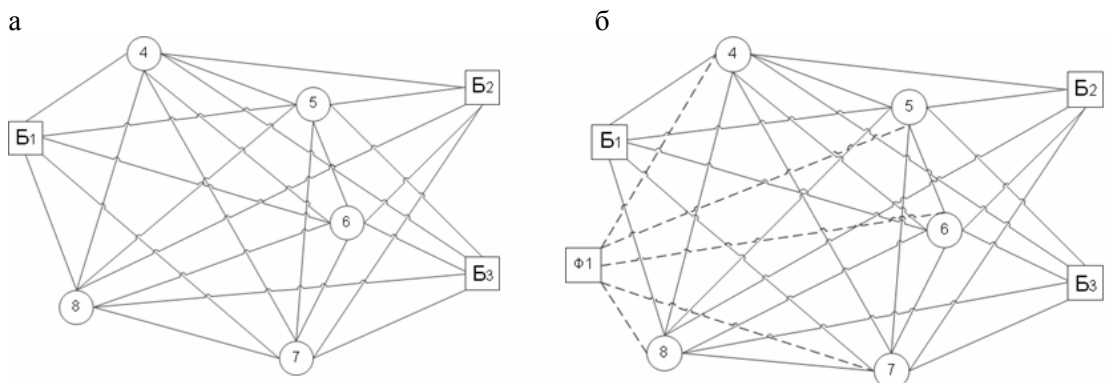


Рис. 1 Транспортный граф:
а – исходный; б – фиктивный

Вводим в исходный транспортный граф фиктивный узел Φ_1 (рис. 1б). Создаем новую матрицу (табл. 2). Выполняем в матрице операцию приведения по строкам и столбцам (табл. 3). Вычеркнув в табл. 3 строки B_2 и B_3 , а также столбцы B_1 и Φ_1 , получим табл. 4.

Таблица 2

	Б₁	Б₂	Б₃	4	5	6	7	8	Φ₁
Б₁				5	1	4	10	8	
Б₂				11	8	7	2	6	
Б₃				3	12	5	6	8	
4	5	11	3		6	3	7	9	5
5	1	8	12	6		4	5	1	1
6	4	7	5	3	4		2	8	4
7	10	2	6	7	5	2		6	10
8	8	6	8	9	1	8	6		8
Φ₁				5	1	4	10	8	

Таблица 3

	Б₁	Б₂	Б₃	4	5	6	7	8	Φ₁	
Б₁				4	0	3	9	7		1
Б₂				9	6	5	0	4		2
Б₃				0	9	2	3	5		3
4	2	8	0		3	0	4	6	2	3
5	0	7	11	5		3	4	0	0	1
6	2	5	3	1	2		0	6	2	2
7	8	0	4	5	3	0		6	8	2
8	7	5	7	8	0	7	5		7	1
Φ₁				4	0	3	9	7		1

Таблица 4

	Б₂	Б₃	4	5	6	7	8
Б₁			4	0	3	9	7
4	8	0		3	0	4	6
5	7	11	5		3	4	0
6	5	3	1	2		0	6
7	0	4	5	3	0		6
8	5	7	8	0	7	5	
Φ₁			4	0	3	9	7

Таблица 5

	Б₂	Б₃	4	5	6	7	8
Б₁			3	0 ³	3	9	7
4	8	0 ³		3	0 ⁰	4	6
5	7	11	4		3	4	0 ⁹
6	5	3	0 ³	2		0 ⁴	6
7	0 ⁵	4	4	3	0 ⁰		6
8	5	7	7	0 ⁵	7	5	
Φ₁			3	0 ³	3	9	7
			1				

Выполнив операции приведения в столбце 4 табл. 4, получим табл. 5. Вычеркнув в ней ячейку 5–8 с наибольшей оценкой 9, создадим новую таблицу 6×6 (табл. 6). Блокируем звено 8–5.

Таблица 6

	Б₂	Б₃	4	5	6	7
Б₁			3	0	3	9
4	8	0		3	0	4
6	5	3	0	2		0
7	0	4	4	3	0	
8	5	7	7	∞	7	5
Φ₁			3	0	3	9

Результат приведения матрицы и оценки нулевых элементов показан в табл. 7. В ней две ячейки имеют одинаковую оценку 3. В принципе можно вычеркнуть любую из них. Оптимальный маршрут устанавливается из сравнения всех вариантов. В данном примере рассматривается случай вычеркивания ветви Б₁–5.

Таблица 7

	Б₂	Б₃	4	5	6	7	
Б₁			3	0 ³	3	9	
4	8	0 ²		3	0 ⁰	4	
6	5	3	0 ²	2		0 ⁰	
7	0 ⁰	4	4	3	0 ⁰		
8	0 ⁰	2	2		2	0 ⁰	5
Φ₁			3	0 ³	3	9	

Создаем новую матрицу (табл. 8).

После оценки элементов в табл. 8 вычеркиваем ветвь 4–Б₃ (табл. 9).

Таблица 8

	Б₂	Б₃	4	6	7
4	8	0		0	4
6	5	3	0		0
7	0	4	4	0	
8	0	2	2	2	0
Φ₁			3	3	9

Таблица 9

	Б₂	Б₃	4	6	7	
4	8	0 ⁰		0 ⁰	4	
6	5	3	0 ⁰		0 ⁰	
7	0 ⁰	4	4	0 ⁰		
8	0 ⁰	2	2	2	0 ⁰	
Φ₁			0 ⁰	0 ⁰	6	3

В результате новая матрица имеет размер 4×4 (табл. 10). В ней блокируем ветвь 8–4 против заикливания. Как показала оценка восьми нулевых элементов матрицы, все они одинаковы. Можно вычеркивать любую ветвь. Сравнивая варианты, устанавливаем оптимальное звено. Вычеркиваем ячейку 6–4 и получаем табл. 11.

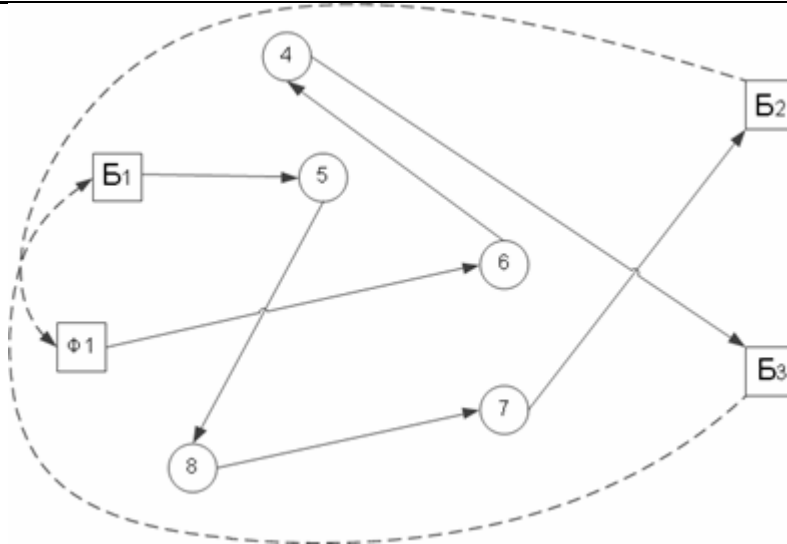


Рис. 2. Схема кольцевого фиктивного маршрута

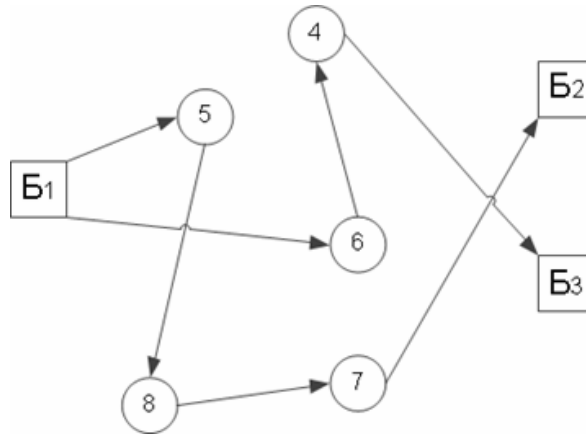


Рис. 3. Радиальные маршруты

Таблица 10

	Б₂	4	6	7
6	5	0 ⁰		0 ⁰
7	0 ⁰	4	0 ⁰	
8	0 ⁰	∞	2	0 ⁰
Ф₁		0 ⁰	0 ⁰	6

В табл. 11 блокируем звено 8–6 и вычеркиваем ветвь 8–7.

Таблица 11

	Б₂	6	7
7	0 ⁰	0 ⁰	
8	0 ⁰	∞	0 ⁶
Ф₁		0 ⁶	6

Создаем новую матрицу, в которой удаляем 7–Б₂ и Ф₁–6 (табл. 12).

Таблица 12

	Б₂	6
7	0 [∞]	0
Ф₁		0 [∞]

В результате расчетов получен фиктивный кольцевой маршрут: Б₁-5-8-7-Б₂-Ф₁-6-4-Б₃-1 (рис. 2). Отбрасывая фиктивный узел Ф₁, получаем две оптимальные радиальные схемы передвижения: Б₁-5-8-7-2 и Б₁-6-4-3, каждая длиной 10 км (рис. 3).

Дается решение транспортной задачи, позволяющее определять оптимальные радиальные маршруты для транспортировки строительных грузов автомобильным транспортом (используется точный метод линейного программирования).

Список литературы

1. Домке, Э.Р. Совершенствование организации перевозочного процесса грузов автомобилями: моногр. / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова. – Пенза: ПГУАС, 2013. – 120 с.
2. Домке, Э.Р. Методы оптимизации маршрутных схем развозки грузов автомобильным транспортом / Э.Р. Домке, С.А. Жесткова. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 163 с.

References

1. Domke, E.R. Improving the organization of the transportation process freight cars: monogr. / E.R. Domke, S.A. Zhestkova. – Penza: PGUAS, 2013. – 120 p.
2. Domke, E.R. Methods of optimization of routing schemes of delivery of cargoes by motor transport / E.R. Domke, S.A. Zhestkova. – Penza: PGUAS, 2014. – 163 p.

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ РУКОПИСЕЙ, НАПРАВЛЯЕМЫХ В РЕДАКЦИЮ

Редакция журнала «Региональная архитектура и строительство» принимает к изданию оригинальные статьи, содержащие новые научные результаты, и обзорные статьи по тематике журнала.

Статьи, ранее опубликованные, а также принятые к опубликованию в других журналах, редколлегией не рассматриваются.

Редакция принимает к рассмотрению статьи, подготовленные с использованием текстового редактора Microsoft Word for Windows версий 97 или выше, кроме версии Microsoft Word for Windows 2007. Необходимо представить статью в электронном виде (дискета 3,5", CD-диск) и дополнительно на бумажном носителе в двух экземплярах.

Оптимальный объем рукописи – 6...8 страниц формата А4. Основной шрифт статьи – Times New Roman, 14 pt через полуторный интервал. Тип файла в электронном виде – RTF. Рисунки и таблицы должны быть размещены в тексте статьи и представлены в виде отдельных файлов (растровые рисунки в формате TIFF, JPG с разрешением 600 dpi, векторные рисунки в формате Corel Draw, с минимальной толщиной линии 0,75 pt). Рисунки должны сопровождаться подрисовочными подписями. Формулы в тексте статьи выполняются в редакторе формул Microsoft World Equation, версия 3.0 и ниже. Допускается вставка в текст специальных символов (с использованием шрифтов Symbol).

Заголовки статьи должны полностью отражать ее содержание.

Перечень документов для представления статьи к публикации в журнале:

- сопроводительное письмо с перечнем прилагаемых документов;
- рукопись статьи в 2 экз., подписанная авторами;
- электронная версия статьи (дискета 3,5", CD-диск, E-mail: regas@pguas.ru);
- экспертное заключение о возможности открытого опубликования (должно быть заверено печатью и подписью ответственного лица);
- внешняя рецензия, заверенная печатью организации с места работы рецензента;
- согласие на размещение статьи в открытом доступе в Internet;
- информация для заполнения учетного листа авторов на русском и английском языках (фамилия, имя, отчество, место работы и должность, ученая степень, ученое звание, почетные степени и звания, почтовый адрес с указанием индекса, телефон с указанием кода города, электронный адрес, полное и сокращенное название организации, в которой выполнена работа, её почтовый адрес).

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Статья должна содержать: индекс УДК; название на русском и английском языках; инициалы и фамилии авторов на русском и английском языках; аннотацию (до 5 строк), ключевые слова и список литературы на русском и английском языках, а также ссылки на литературу в квадратных скобках.

В списке литературы, оформленном согласно ГОСТ 7.1–2003, нумерация источников должна соответствовать очередности ссылок на них в тексте.

Номер источника с указанием используемых страниц приводится в квадратных скобках.

В списке указываются:

- для книг – фамилия и инициалы автора, название, город, издательство, год издания, том, количество страниц;
- для журнальных статей, сборников трудов – фамилия и инициалы автора, название статьи, полное название журнала, серия, год, том, номер, выпуск, страницы;
- для материалов конференций – фамилия и инициалы автора, название статьи, название издания, время и место проведения конференции, город, издательство, год, страницы.

В конце статьи допускается указание наименования программы, в рамках которой выполнена работа, или наименование фонда поддержки.

Рукописи статей рецензируются.

Рукопись, полученная редакцией, не возвращается.

Редакция оставляет за собой право проводить редакторскую и допечатную правку текстов статей, не изменяющую их основного смысла, без согласования с автором.

