

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ
ЖУРНАЛ**

Выходит 4 раза в год

Учредитель и издатель

Пензенский государственный
университет архитектуры
и строительства

Главная редакция:

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

Адрес редакции:

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

Редакторы: М.А. Сухова
Н.Ю. Шалимова

Дизайн обложки Е.Г. Лапшина

Компьютерная верстка
Н.А. Сазонова

Перевод О.В. Гринцова

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

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

Подписной индекс:
36946 в каталоге Роспечати

Авторы опубликованных материалов
несут ответственность за достоверность
приведенных сведений, точность данных
по цитируемой литературе и за использо-
вание в статьях данных, не подлежа-
щих открытой публикации.
Редакция может опубликовать статьи
в порядке обсуждения, не разделяя точку
зрения автора.

Подписано к печати 15.06.2021.
Формат 60x84 1/8.
Уч.-изд.л. 18.75. Тираж 500 экз. Первый завод 100.
Заказ № 63.

Отпечатано в издательстве ПГУАС

РЕГИОНАЛЬНАЯ АРХИТЕКТУРА И СТРОИТЕЛЬСТВО 2(47)/2021

Содержание

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ИЗДЕЛИЯ..... 5

**Селяев В.П., Грязнов С.Ю.,
Бабушкина Д.Р.**
НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ
ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ,
РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ.... 5

Береговой В.А., Капустин А.Е.
ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТВОРНОЙ ЧАСТИ
НЕАВТОКЛАВНЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ
ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ 16

Гарькина И.А., Данилов А.М.
АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ
КОМПОЗИТОВ: МНОГОМОДЕЛЬНОСТЬ,
СТРУКТУРА МОДЕЛИ, ДЕКОМПОЗИЦИЯ,
КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА..... 22

Учаева Т.В., Логанина В.И.
ОЦЕНКА РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА ПРОЦЕССА
ОКРАШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ
И КОНСТРУКЦИЙ..... 29

Логанина В.И., Фролов М.В.
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ
ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ
ОТДЕЛОЧНЫХ СЛОЕВ НА ВЛАЖНОСТНЫЙ
РЕЖИМ В СТЕНАХ ЗДАНИЙ 36

Жегера К.В., Самигулина Е.А.
ПРОЦЕСС СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА
КАЧЕСТВА «КОРРЕКТИРУЮЩИЕ
И ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ»
НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНОГО
ПРЕДПРИЯТИЯ..... 44

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ,
ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ..... 50

Бакушев С.В., Снежкина О.В.
РАСЧЁТ УПРУГИХ СТЕРЖНЕВЫХ
ЭЛЕМЕНТОВ С КАСАТЕЛЬНЫМИ
НАГРУЗКАМИ 50

© Авторы публикаций, 2021
© Е.Г. Лапшина, дизайн обложки, 2021
© ПГУАС, 2021

Селяев В.П., Безрукова Е.С., Грязнов С.Ю., Бабушкина Д.Р. ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ 58	ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ 109
Гучкин И.С., Ласьков Н.Н. УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ СЛОЯМИ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА..... 67	Еремкин А.И., Ежов Е.Г., Леонтьев В.А. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ..... 109
Береговой А.М., Береговой В.А. ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОКЛИМАТА И ВОЗДУХООБМЕНА В ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ 72	Гришин Б.М., Бикунова М.В., Ласьков Н.Н., Перельгин Ю.П. ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ФЛОТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ 118
Саденко Д.С., Гарькин И.Н. ВНУТРЕННИЕ ДЕФЕКТЫ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: ДИАГНОСТИКА И МЕТОДИКА УСТРАНЕНИЯ..... 77	Наумов В.А. ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕСА КАНАЛИЗАЦИОННОГО ПОГРУЖНОГО НАСОСА НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ 125
Макарова Л.В., Тарасов Р.В., Баукова Н.С. ОЦЕНКА ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ», РЕАЛИЗУЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЕЙ..... 82	Будылина Е.А., Гарькина И.А., Данилов А.М. СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ: ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ..... 133
Снежкина О.В., Корнюхин А.В. СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ..... 94	Ерёмкин А.И., Баканова С.В., Белов В.Е., Родионов Ю.В. НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ 138
Дерина М.А. КОНЦЕПЦИЯ ВАРИАТИВНОГО СРАВНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ 102	АРХИТЕКТУРА..... 145
	Гречишкин А.В., Жоголева О.А., Матвеева И.В. УЧЕТ ФАКТОРА ШУМНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРОВИНЦИАЛЬНЫХ ГОРОДОВ 145

Contents

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS.....	5	Guchkin I.S., Laskov N.N. REINFORCEMENT OF A REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB FIXED ON BOTH SIDES WITH LAYERS OF REINFORCED CONCRETE	67
Selyaev V.P., Gryaznov S.Yu., Babushkina D.R. NONLINEAR MODELS OF DEGRADATION OF POLYMER COMPOSITES OPERATING IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT	5	Beregovoy A.M., Beregovoy V.A. MICROCLIMATE AND AIR EXCHANGE INDICATORS IN THE SPACE-PLANNING STRUCTURE OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING	72
Beregovoi V.A., Kapustin A.E. DESIGN OF THE MORTAR PART OF HIGH-STRENGTH NON-AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETES.....	16	Sadenko D.S., Garkin I.N. INTERNAL DEFECTS IN CONCRETE CONSTRUCTIONS: DIAGNOSTICS AND METHOD OF ELIMINATION.....	77
Garkina I.A., Danilov A.M. ANALYTICAL DESIGN OF COMPOSITES: MULTI-MODEL, MODEL STRUCTURE, DECOMPOSITION, QUALITY CRITERIA ..	22	Makarova L.V., Tarasov R.V., Baukova N.S. ASSESSMENT OF PROCESS MATURITY «MEASURING INSTRUMENTS CONTROL» IMPLEMENTED IN THE MANUFACTURE OF METAL STRUCTURES FOR OIL AND GAS, METALLURGICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES.....	82
Uchaeva T.V., Loganina V.I. RISK MANAGEMENT ASSESSMENT OF THE PAINTING PROCESS OF BUILDING PRODUCTS AND STRUCTURES.....	29	Snezhkina O.V., Korniyukhin A.V. COMPARISON OF METHODS FOR CALCULATING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE ACTION OF LATERAL FORCES.....	94
Loganina V.I., Frolov M.V. RESEARCH OF INFLUENCE OF EXTERNAL FINISHING LAYERS CHARACTERISTICS ON HUMIDITY IN WALLS OF BUILDINGS	36	Derina M.A. CONCEPT OF VARIABLE COMPARISON OF TECHNICAL AND ECONOMIC SOLUTIONS FOR RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS.....	102
Zhegera K.V., Samigulina E.A. PROCESS OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM «CORRECTIVE AND PREVENTIVE ACTIONS» ON THE EXAMPLE OF A CONSTRUCTION COMPANY	44	ENGINEERING SYSTEMS.....	109
BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS.....	50	Eremkin A.I., Ezhov E.G., Leontiev V.A. RESEARCH METHODOLOGY OF RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY SYSTEMS.....	109
Bakushev S.V., Snezhkina O.V. CALCULATION OF ELASTIC ROD ELEMENTS UNDER TANGENTIAL LOADS	50	Grishin B.M., Bikunova M.V., Laskov N.N., Perelygin Yu.P. EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A VORTEX MIXING DEVICE OF A FLOTATION PLANT	118
Selyaev V.P., Bezrukova E.S., Gryaznov S.Yu., Babushkina D.R. PROBABILITY ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES' DURABILITY BY THE METHOD OF STATISTICAL LINEARIZATION OF DEGRADATION FUNCTIONS	58		

Naumov V.A. INFLUENCE OF WHEEL SPEED OF A SEWAGE SUBMERSIBLE PUMP ON PARAMETERS OF THE OPERATING POINT	125	ARCHITECTURE	145
Budylna E.A., Garkina I.A., Danilov A.M. COMPLEX SYSTEMS: PARAMETRIC IDENTIFICATION, MONITORING AND CONTROL.....	133	Grechishkin A.V., Zhogoleva O.A., Matveeva I.V. NOISE IMPACT ACCOUNTING IN THE RECONSTRUCTION OF HISTORICAL BUILDINGS IN PROVINCIAL CITIES	145
Eremkin A.I., Bakanova S.V., Belov V.E., Rodionov Yu.V. SOME METHODS OF ENERGY SAVING IN HEATING SYSTEMS OF RESIDENTIAL MULTI-APARTMENT BUILDINGS.....	138		

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

УДК 691.327

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

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН
E-mail: ntorm80@mail.ru

Грязнов Сергей Юрьевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru

Бабушкина Дельмира Рафиковна,
инженер
E-mail: delmira2009@yandex.ru

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

Russia, 430006, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

Selyaev Vladimir Pavlovich,
Doctor of Sciences, Professor, Academician of
the Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences
E-mail: ntorm80@mail.ru

Gryaznov Sergey Yurievich,
Postgraduate student of the department
«Building Structures»
E-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru

Babushkina Delmira Rafikovna,
Engineer
E-mail: delmira2009@yandex.ru

НЕЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ ДЕГРАДАЦИИ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИТОВ, РАБОТАЮЩИХ В АГРЕССИВНЫХ СРЕДАХ

В.П. Селяев, С.Ю. Грязнов, Д.Р. Бабушкина

Предложены нелинейные модели деградации полимерных композитов, работающих в условиях действия агрессивных сред. Выполнен анализ существующих методов прогнозирования долговечности строительных конструкций, на основании которого установлено, что наиболее точным, совершенным и экспериментально обоснованным является метод деградационных функций. Экспериментально получены нелинейные изохроны распределения микротвердости по высоте поперечных сечений полимерных образцов. На основании анализа экспериментальных данных предложено для описания изохрон деградации применять степенные функции, преимущества которых заключаются в возможности аналитического определения постоянных коэффициентов аппроксимации с учетом законов физической химии: Фика, Ленгмюра, Гульдберга-Вааге. Показана возможность прогнозирования долговечности сжатых элементов с применением деградационных функций жесткости.

Ключевые слова: композиты, долговечность, ресурс, агрессивная среда, деградация, нелинейность, математическая модель

NONLINEAR MODELS OF DEGRADATION OF POLYMER COMPOSITES OPERATING IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

V.P. Selyaev, S.Yu. Gryaznov, D.R. Babushkina

The article proposes nonlinear models of degradation of polymer composites operating in aggressive environment. The analysis of existing methods for predicting the durability of building structures, based on which it was established that the most accurate, perfect and experimentally justified is the method of degradation functions. Nonlinear isochrones of the distribution of microhardness along the height of the cross sections of polymer samples are obtained experimentally. Based on the analysis of experimental data, it was proposed to use power functions to describe degradation isochrones, the advantages of which are the possibility of analytical determination of constant approximation coefficients, taking into account the laws of physical chemistry: Fick, Langmuir, Guldberg-Waage. The possibility of predicting the durability of compressed elements using degradation stiffness functions is shown.

Keywords: composites, durability, resource, aggressive environment, degradation, nonlinearity, mathematical model

Введение

подавляющее большинство строительных материалов, применяемых в современной практике строительства, подвергается разрушающим воздействиям окружающей среды уже с самого начала жизненного цикла возводимого объекта. Особого внимания требуют конструкции, состоящие из композиционных материалов со сложноорганизованной структурой, как правило, наиболее склонной к разрушению вследствие совместного воздействия механических нагрузок и агрессивных химических сред на поверхности.

Результаты многочисленных исследований, представленные в целом ряде работ отечественных и зарубежных ученых [1-8], подтверждают сложность и нелинейность процессов деградации, которые в равной степени зависят от: концентрации и химической активности агрессивной среды, диффундирующей в объем изделия; физико-химических и механических характеристик структуры материала твердого тела; стохастического влияния условий эксплуатации. Следовательно, назначение нормативных сроков эксплуатации и определение остаточного ресурса конструкций требуют детального понимания и учета всех многочисленных факторов. На практике это является сложной инженерной задачей, решение которой уже не может быть сведено к обоснованному назначению условных коэффициентов запаса. Параметры деградации в существующих математических моделях должны быть заменены фундаментально обоснованными функциональными зависимостями, учитывающими влияние хронологических процессов [9-11].

Следовательно, актуальность выбранной области исследований заключается в разработке теоретически обоснованной и экспериментально верифицированной математической модели, способной учесть все основные факторы и описать любой процесс разрушения структуры материалов с учетом самых сложных условий эксплуатации, опираясь на фундаментальные законы механики, физики и химии.

Вопросами изучения долговечности строительных материалов и конструкций, а также разработкой нормативно-правовой базы занимаются многие исследователи, представители различных профильных лабораторий, научных центров и международных комитетов, институтов и объединений, таких, как ФИБ – Международная федерация по железобетону (фр. *Fédération Internationale du Béton*, FIB), или ИСО – Международная организация по стандартизации (англ. *International Organization for Standardization*, ISO).

Основным нормативным документом, определяющим принципы проектирования железобетонных конструкций по жизненному циклу, является введенный в 2012 году международный стандарт ISO 16204:2012 «Долговечность. Расчет срока службы бетонных конструкций». Этот стандарт предназначен для определения долговечности конструкций, а также для оценки остаточного ресурса. В работах [12-14] представлен подробный анализ международных и отечественных нормативно-технических доку-

ментов в области долговечности строительных конструкций. Рекомендованы для применения в практике проектирования концепций жизненного цикла зданий и сооружений следующие нормативно-технические документы: ГОСТ Р ИСО 13822 «Основы проектирования конструкций. Оценка существующих конструкций»; ГОСТ Р ИСО 16204:2012 «Долговечность. Расчет срока службы бетонных конструкций»; ГОСТ 31384-2017 «Защита бетонных и железобетонных конструкций от коррозии. Общие технические требования»; СП «Бетонные и железобетонные конструкции. Проектирование на срок службы».

Однако, несмотря на проделанную работу по нормированию долговечности строительных конструкций, по-прежнему нет единого и четкого представления о расчетных моделях деградации структуры, изделий, элементов строительных конструкций при эксплуатации в агрессивных средах. Среди многочисленных подходов, предлагаемых исследователями смежных областей, наиболее развитыми в оценке долговечности строительных материалов и конструкций являются методы, основанные на: методах теории вероятностей [15–16]; анализе изменения элементного и химического составов материала и фильтрата [10, 17]; применении расчетных схем классической теории сопротивления материалов и законов термодинамики [18–20]. Однако наиболее точным, совершенным и экспериментально обоснованным является метод оценки химического сопротивления строительных материалов и конструкций с помощью деградационных функций. Данный метод подробно развит в работах авторов [10, 21–24], которыми был проведен глубокий анализ различных математических моделей.

Цель данной работы заключается в разработке и верификации альтернативной математической модели для определения деградационных функций жесткости поперечного сечения центрально-нагруженных элементов по нелинейным феноменологическим моделям с возможностью аналитического определения параметров аппроксимации.

Материалы и методы

Между различными деградационными функциями можно установить взаимосвязь, это дает возможность иметь дело лишь с одной деградационной функцией, определение которой наиболее удобно [10].

Для данного исследования базисной является деградационная функция жесткости. Она характеризуется законом изменения модуля деформации по сечению элемента, который может быть линейным (рис. 1, а) или нелинейным (рис. 1, б). В данной работе исследовался процесс переноса агрессивной среды в образец только вдоль оси u ; следовательно, было рассмотрено 2 характерных участка на моделях деградации (рис. 1). В зоне непосредственного контакта материала со средой (участок I) модуль деформации снижается до некоторого минимального значения – E_1 . Происходит дальнейшее проникание среды в глубь образца, и на границе участков I и II модуль деформации увеличивается до некоторого значения – E_2 , после которого начинается линейный участок II с постоянными упругопрочностными характеристиками. При условии, когда $E_2 = E_0$, может быть получен линейный участок, не подверженный коррозионному воздействию среды.

Современные неразрушающие методы определения упругопрочностных характеристик строительных материалов позволяют с высокой точностью определять численные значения микротвердости в пределах площади поперечного сечения образца, которые связаны прямой пропорциональной зависимостью со значениями модуля упругости. Следовательно, законы их распределения по сечению идентичны, а характер кривых в основном зависит от структуры материала, вида агрессивной среды и времени эксплуатации. Такие графики принято называть изохронами деградации. Положение изохрон деградации характеризуется двумя параметрами: координатой фронта деструкции – глубинный показатель (a) и характеристикой линейности механизма деградации – (φ) (см. рис. 1).

Экспериментальными исследованиями были получены графики изменения микротвердости по сечению образцов (изохроны деградации). Образцы (призмы $20 \times 20 \times 70$ мм) из полимерных композитов на основе полиэфирной смолы ПН-1

выдерживались в различных агрессивных средах (рис. 2 и 3). Составы исследованных образцов приведены в табл. 1. В процессе экспонирования образцы подвергались испытанию с целью определения прочности и микротвердости. Методика испытаний изложена в работе [10].

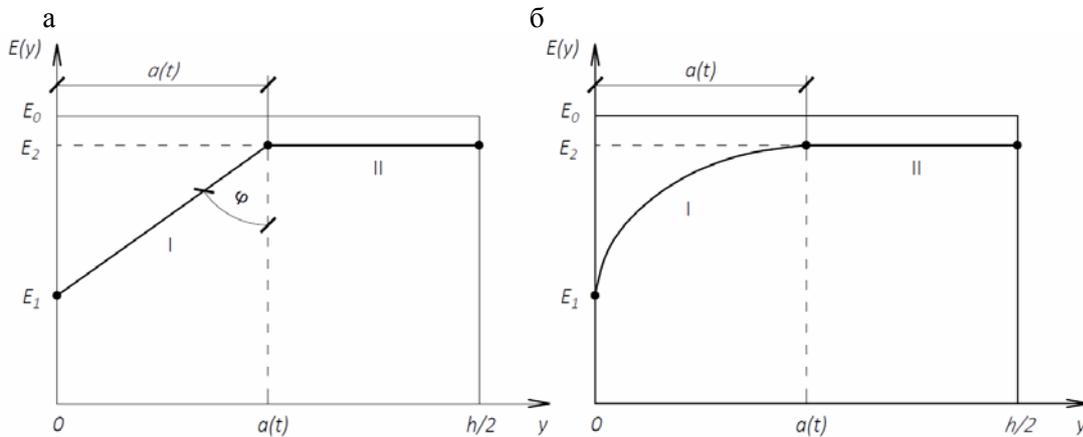


Рис. 1. Основные модели деградации модуля деформации поперечного сечения элемента:
а – линейная, б – нелинейная

Т а б л и ц а 1

Составы полимерных композитов, мас. ч.

Номер состава	Компоненты					
	ПН-1	Нафтенат кобальта	Гипериз	Маршалит	Графит	Портланд-цемент
1	100,0	8,0	4,0	-	-	150,0
2	100,0	8,0	4,0	-	60,0	80,0
3	100,0	8,0	4,0	250,0	-	-
4	100,0	8,0	4,0	-	-	-

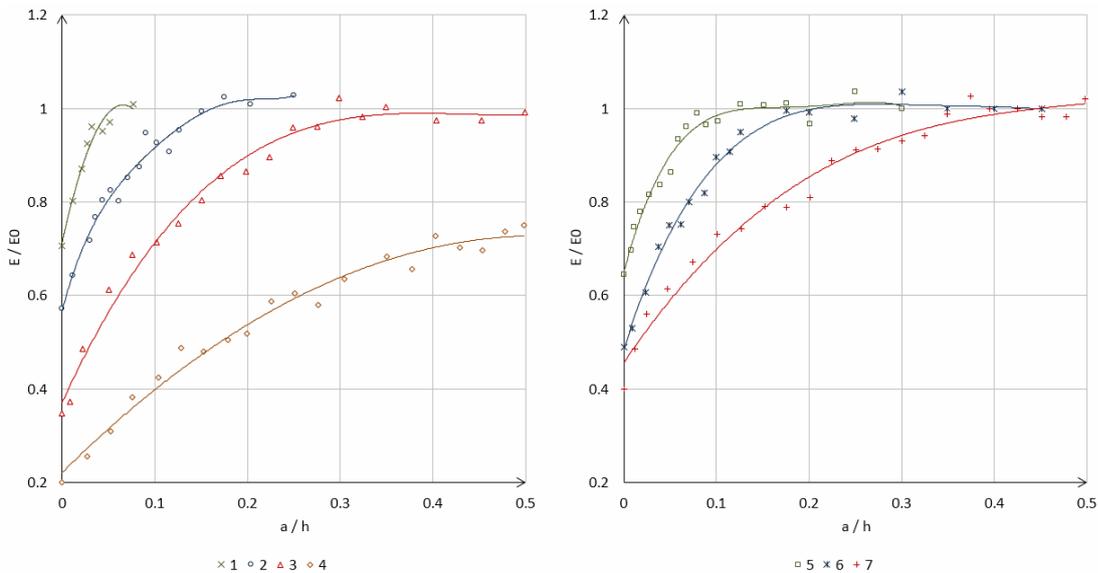


Рис. 2. Изохроны деградации композитного материала 1-го состава слева и 2-го состава справа в 10 %-м растворе H_2SO_4 . Длительность экспонирования, сут:
1 – 50; 2 – 170; 3 – 265; 4 – 395; 5 – 160; 6 – 265; 7 – 385

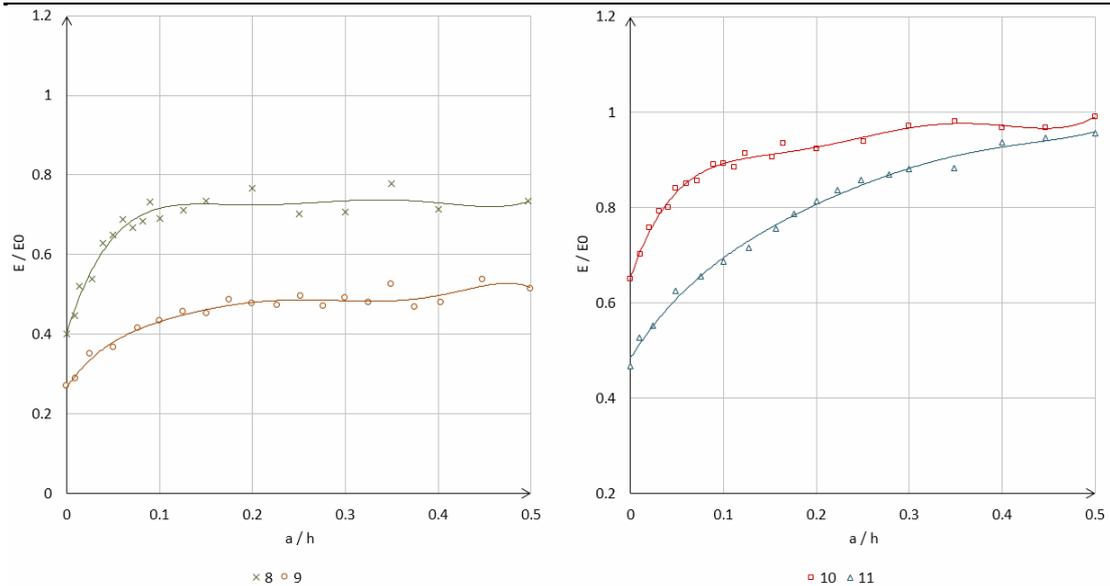


Рис. 3. Изохроны деградации композитного материала 3-го состава слева и 4-го состава справа в воде. Длительность выдержки, сут:
8 – 370; 9 – 550; 10 – 370; 11 – 550

Результаты испытаний, представленные на графиках (см. рис. 2 и 3), подтверждают гипотезу о неравномерном процессе деструкции материала в пределах поперечного сечения образцов. Разброс значений на графиках можно объяснить введением заполнителей, которые нарушают однородность структуры материала. Агрессивная среда начинает проникать в глубь материала по слабым участкам через поры, капилляры, аморфные частицы. Величина микротвердости материала, расположенного в поверхностных слоях, имеет минимальное значение, соответствующее длительности действия агрессивной среды, которое нелинейно увеличивается с ростом глубины до некоторой постоянной величины. Данные на графиках для большей наглядности аппроксимировались полиномиальными зависимостями высших порядков, что и позволяет сформулировать гипотезу о возможности описания нелинейных изохрон деградации комбинированными степенными зависимостями.

Результаты и обсуждение

Композиционные материалы имеют структуру, которая отвечает принципам фрактальности – она многомасштабна и самоподобна. Согласно Б. Мандельброту, свойства фрактальных структур описываются степенными функциями. Поэтому для аппроксимации представленных на рис. 2 и 3 изохрон деградации будем использовать комбинированные степенные функции (1). Преимущество данных зависимостей заключается в том, что они являются универсальными и вариативными для описания любых нелинейных изохрон деградации. Кроме того, аппроксимирующие параметры данных функций можно определить аналитически, зная величину микротвердости (H_1) на поверхности, глубинный показатель (a) и время воздействия агрессивной среды. Это дает возможность оценить остаточный ресурс конструкций, используя данные деградации в одной лишь точке, полученные неразрушающими методами.

Закон, описывающий нелинейный участок изохрон деградации поперечного сечения (рис. 4), представим комбинированной степенной функцией вида:

$$f(y) = \alpha \cdot y^n + \beta \cdot y + \delta. \quad (1)$$

Параметр n характеризует вид изохрон деградации, их положение и форму. Он может быть определен экспериментально из анализа изохрон деградации либо выбран из предварительно сформированной статистической базы данных соответствия материалов, условий физико-химического и механического воздействий, а также времени

действия агрессивной среды. Численно параметр n может быть равен любому положительному рациональному числу при условии неравенства единице.

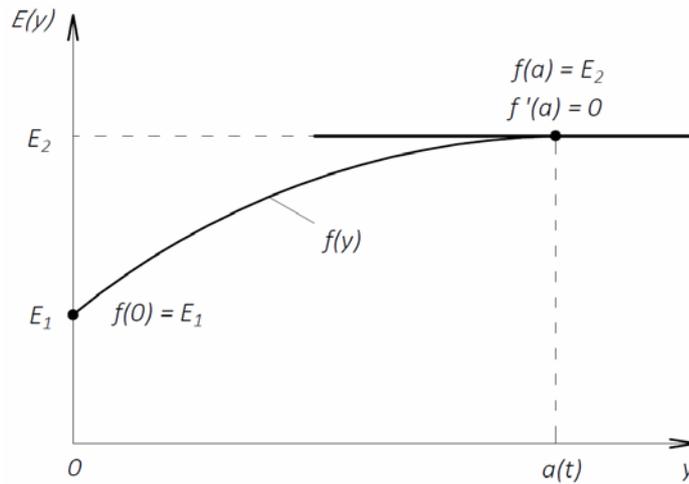


Рис. 4. Граничные условия для определения постоянных α , β и δ

Для нахождения постоянных коэффициентов аппроксимации α , β и δ необходимо сформулировать 3 граничных условия (см. рис. 4):

- 1) при $y = 0 : f(y) = \delta = E_1$;
- 2) при $y = a : f(y) = \alpha \cdot a^n + \beta \cdot a + E_1 = E_2$, откуда следует:

$$\beta = \frac{(E_2 - E_1) \cdot n}{a \cdot (n - 1)} ; \tag{2}$$

3) производная функции равна нулю в точках, в которых касательная к графику функции горизонтальна (см. рис. 4); следовательно, при $y = a$:

$$f'(y) = n \cdot \alpha \cdot a^{n-1} + \beta = 0 ,$$

откуда следует:

$$\alpha = -\frac{\beta \cdot a}{n \cdot a^n} = -\frac{(E_2 - E_1)}{(n - 1) \cdot a^n} . \tag{3}$$

С учетом вышеизложенного, закон изменения модуля деформации E по высоте поперечного сечения h (см. рис. 1, b) примет вид:

$$E(y) = -\frac{(E_2 - E_1)}{(n - 1) \cdot a^n} \cdot y^n + \frac{(E_2 - E_1) \cdot n}{a \cdot (n - 1)} \cdot y + E_1 \text{ при } 0 \leq y \leq a,$$

$$E(y) = E_2 \text{ при } a \leq y \leq h/2 .$$

Для элементов конструкций, работающих на осевое сжатие или растяжение, с учетом вышеприведенного закона, деградационная функция жесткости в общем виде определяется следующей формулой:

$$\begin{aligned} D(W_c) &= \iint_{F(t)} E(t, y, x) dx dy / \iint_{F(0)} E(t_0, y, x) dx dy = \\ &= 2 \int_0^{h/2} E(y) b dy / (E_0 b h) = \frac{2}{E_0 b h} \int_0^{h/2} E(y) b dy = \end{aligned} \tag{4}$$

$$= \frac{2}{E_0 b h} \int_0^a (\alpha \cdot y^n + \beta \cdot y + \delta) b dy + \frac{2}{E_0 b h} \int_a^{h/2} E_2 b dy.$$

Для изгибаемых элементов деградационная функция жесткости примет вид:

$$D(W_u) = \iint_{F(t)} E(t, y, x) y^2 dx dy / \iint_{F(0)} E(t_0, y, x) y^2 dx dy =$$

$$= 2 \int_0^{h/2} E(y) b y^2 dy / \left(\frac{E_0 b h^3}{12} \right) = \frac{24}{E_0 b h^3} \int_0^{h/2} E(y) b y^2 dy =$$
(5)

$$= \frac{24}{E_0 b h^3} \int_0^a (\alpha \cdot y^n + \beta \cdot y + \delta) b y^2 dy + \frac{24}{E_0 b h^3} \int_a^{h/2} E_2 b y^2 dy.$$

Проинтегрировав функции (4) и (5) с учетом неизменной ширины сечения элемента $b = \text{const}$, выполним некоторые преобразования и получим формулы общего вида для деградационных функций жесткости центрально-нагруженных элементов в следующем виде:

$$D(W_c) = \frac{E_2}{E_0} - \left(\frac{E_2}{E_0} - \frac{E_1}{E_0} \right) \cdot \frac{a}{h} \cdot \frac{n}{n+1}. \quad (6)$$

$$D(W_u) = \frac{E_2}{E_0} - \left(\frac{E_2}{E_0} - \frac{E_1}{E_0} \right) \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^3 \cdot \frac{2n}{n+3}. \quad (7)$$

Для дальнейших вычислений и нахождения конкретных значений деградационных функций для выбранных образцов (см. рис. 2 и 3) необходимо выразить функции (6) и (7) в относительных координатах:

$$D(W_c) = k_{x.c.2} - (k_{x.c.2} - k_{x.c.1}) \cdot \frac{a}{h} \cdot \frac{n}{n+1}; \quad (8)$$

$$D(W_u) = k_{x.c.2} - (k_{x.c.2} - k_{x.c.1}) \cdot \left(\frac{a}{h} \right)^3 \cdot \frac{2n}{n+3}, \quad (9)$$

где $k_{x.c.1} = H_1 / H_0 = E_1 / E_0$ – коэффициент химического сопротивления материала, который определяем по изохронам деградации, используя численные значения изменения микротвердости во времени на поверхности образца [25]; $k_{x.c.2} = H_2 / H_0 = E_2 / E_0$ – коэффициент химического сопротивления материала, определяемый на глубине a поврежденного слоя материала; a/h – характеристика скорости деградации, определяемая как ордината фронта деструкции, вызванной совместным действием напряжений и агрессивной среды в относительных координатах.

Результаты расчетов деградационных функций (8) и (9) представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результаты расчетов деградационных функций

Номер состава (табл. 1)	Номер изохроны (рис. 2 и 3)	t , сут	k_1	k_2	n	a/h	$D(W_c)$	$D(W_u)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	0	1,00	1,00	0,00	0,00	1,000	1,000
	1	50	0,71	1,00	1,60	0,07	0,9882	0,9999

1	2	3	4	5	6	7	8	9
	2	170	0,57	1,00	1,80	0,18	0,9519	0,9983
	3	265	0,39	1,00	2,00	0,34	0,8617	0,9808
	4	395	0,22	0,73	2,00	0,50	0,5589	0,6769
2	-	0	1,00	1,00	0,00	0,00	1,000	1,000
	5	160	0,65	1,00	1,40	0,13	0,9740	0,9996
	6	265	0,49	1,00	1,10	0,25	0,9331	0,9957
	7	385	0,40	1,00	1,10	0,50	0,8436	0,9603
3	-	0	1,00	1,00	0,00	0,00	1,000	1,000
	8	370	0,40	0,73	0,20	0,10	0,7266	0,7348
	9	550	0,27	0,49	0,90	0,30	0,4585	0,4870
4	-	0	1,00	1,00	0,00	0,00	1,000	1,000
	10	370	0,65	0,97	0,70	0,30	0,9305	0,9667
	11	550	0,47	0,96	1,50	0,50	0,8091	0,9147

На рис. 5 представлены зависимости деградационных функций от длительности действия агрессивной среды на образцы.

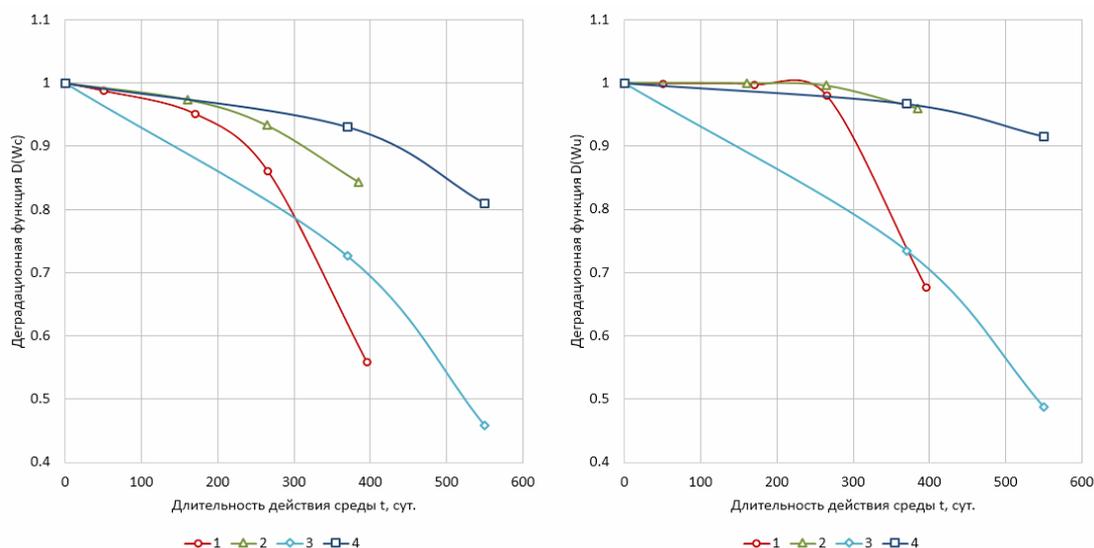


Рис. 5. Зависимость деградационных функций $D(W_c)$ и $D(W_u)$ от длительности действия среды t , сут, для составов 1–4 (см. табл. 2)

Из анализа графиков можно сделать вывод, что все представленные функции имеют нелинейный характер изменения с течением времени, однако для более точных построений деградационных функций необходимо выполнить дополнительные экспериментальные исследования, что может быть реализовано в дальнейших работах.

Выводы

На основании проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предложенная математическая функция, в виде комбинированной степенной зависимости, для описания нелинейной модели деградации поперечного сечения центрально-нагруженных элементов позволяет добиться значительной точности аппроксимации. Большая вариативность и необходимая настройка математической модели достигаются за счет изменения параметра n , значение которого для каждого вида деградации может быть определено на основании статистического анализа экспериментальных данных.

2. Коэффициенты аппроксимации α , β и δ были получены из условия соответствия предложенной функции, описывающей нелинейный участок изохрон деградации, граничным условиям, выраженным через коэффициенты химического сопротивления материала на поверхности и на глубине пораженной зоны.

3. Из анализа полученных деградационных функций жесткости следует, что для описания процесса деградации элемента необходимо знать всего несколько параметров: изменение микротвердости материала в поверхностном слое, которую можно определить неразрушающими методами, и размеры пораженной зоны $a(t)$, которая может быть установлена из анализа испытания аналогичных образцов в лабораторных условиях.

4. Определены деградационные функции жесткости сечений полимербетонных элементов, которые могут быть использованы для описания поведения изделий любых размеров в условиях действия агрессивных сред и прогнозирования длительности срока эксплуатации конструкций.

5. Необходимо провести дополнительные исследования зависимости параметра n от состава образца, условий и длительности действия агрессивной среды.

Список литературы

1. Селяев, В.П. Прогнозирование долговечности железобетонных изгибаемых элементов методом деградационных функций / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, Е.Л. Кечуткина // Жилищное строительство. – 2014. – №12. – С. 8–12.
2. Селяев, В.П. Оценка прочности элементов конструкций из цементных композитов, подверженных действию агрессивной среды / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, Е.Л. Кечуткина // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2018. – № 1(5). – С. 58–64.
3. Селяев, В.П. Оценка влияния химически активных агрессивных сред на процесс деградации композитов / В.П. Селяев, П.В. Селяев, Е.В. Сорокин, Е.Л. Кечуткина // Долговечность строительных материалов, изделий и конструкций. – 2018. – С. 170–174.
4. Yao, Y. Durability of concrete under combined mechanical load and environmental actions: A review / Y. Yao, Z. Wang, L. Wang // Journal of Sustainable Cement-Based Materials. – 2012. – Vol. 1, №. 1(2). – P. 2–15. DOI: 10.1080/21650373.2012.732917.
5. Vorechovska, D. Concrete structures under combined mechanical and environmental actions: Modelling of durability and reliability / D. Vorechovska, M. Somodikova, J. Podrouzek, D. Lehky, B. Teplý // Computers and Concrete. – 2017. – Vol. 20, №. 1. – P. 99–110. DOI: 10.12989/CAC.2017.20.1.099.
6. Wittmann, F.H., Zhao, T., Jiang, F., Wan, X. Influence of combined actions on durability and service life of reinforced concrete structures exposed to aggressive environment // Restoration of Buildings and Monuments. – 2012. – Vol. 18, №. 2. – P. 105–112.
7. Glasser, F.P. Durability of concrete – Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions / F.P. Glasser, J. Marchand, E. Samson // Cement and Concrete Research. – 2008. – Vol. 38, №. 2. – P. 226–246.
8. Basheer, L. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: a review / L., Basheer, J. Kropp, D.J. Cleland // Construction and building materials. – 2001. – Vol. 15, №. 2–3. – P. 93–103.
9. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
10. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.
11. Карпенко, Н.И. О современных методах обеспечения долговечности железобетонных конструкций / Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, В.Т. Ерофеев // Academia. Архитектура и строительство. – 2015. – №. 1. – С. 93–102.
12. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций сооружений / Л.М. Пухонто. – М.: АСВ, 2004. – 423 с.
13. Степанова, В.Ф. Проблемы обеспечения долговечности бетонных и железобетонных конструкций сегодня / В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман // Вторые Полаковские чтения: сб. науч. ст. по материалам Международной науч.-техн. конференции, посвященной 105-летию со дня рождения проф. Алексея Филипповича Полака. – Уфа: Реактив, 2017. – С. 97–111.

14. Степанова, В.Ф. Мониторинг и анализ нормативных документов в области проектирования железобетонных конструкций по их жизненному циклу / В.Ф. Степанова, В.Р. Фаликман, Е.Н. Королева // *Строительные материалы*. – 2018. – №7. – С. 14–19. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-14-19.
15. Болотин, В.В. Методы теории вероятностей и теории надежности в расчетах сооружений. – М.: Стройиздат, 1982. – 351 с.
16. Селяев, В.П. Вероятностные методы оценки долговечности железобетонных изгибаемых элементов / В.П. Селяев, П.В. Селяев, И.С. Петров // *Academia. Архитектура и строительство*. – 2009. – №3. – С. 87–90.
17. Химическое сопротивление бетонов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев // *Бетон и железобетон*. – 1984. – №8. – С. 16–17.
18. Петров, В.В. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой / В.В. Петров, И.Г. Овчинников, Ю.М. Шихов. – Саратов: Сарат. ун-т, 1987. – 288 с.
19. Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete / K. Tuutti // *Swedish Cement and Concrete Research Inst.* – Stockholm, 1982. – 469 p.
20. Bazant, Z. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures theory / Z. Bazant // *Journal of the Structural Division*. – 1979. – №105 (ST6). – P. 1137–1153.
21. Расчет изгибаемых полимербетонных элементов, взаимодействующих с агрессивными средами / В.Н. Журавлева, В.П. Селяев, В.И. Соломатов // *Технология и механизация гидроизоляционных работ промышленных, гражданских и энергетических сооружений*. – Л.: Энергия, 1983. – С. 78–80.
22. Экспериментальный метод определения деградационных функций для полимербетонов / В.Н. Журавлева, В.П. Селяев, В.И. Соломатов // *Повышение долговечности бетона транспортных сооружений*. – М., 1980. – С. 86–95.
23. Селяев, В.П. Основы теории расчета композиционных конструкций с учетом действия агрессивных сред: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / В.П. Селяев. – М., 1984. – 36 с.
24. Модели деградации конструкционных полимербетонов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, В.Н. Журавлева // *Повышение долговечности бетонов транспортных сооружений*. – М., 1982. – С. 27–31.
25. Селяев, В.П. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов: монография / В.П. Селяев, П.В. Селяев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – 220 с.

References

1. Selyaev, V.P. Forecasting the durability of reinforced concrete bending elements by the method of degradation functions / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, E.L. Kechutkina // *Housing construction*. – 2014. – №12. – P. 8–12.
2. Selyaev, V.P. Evaluation of the strength of structural elements made of cement composites exposed to the action of aggressive environment / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, E.L. Kechutkina // *Bulletin of the Volga State Technological University. Ser.: Materials. Constructions. Technologies*. – 2018. – № 1(5). – P. 58–64.
3. Selyaev, V.P. Assessment of the influence of chemically active aggressive environment on the degradation of composites / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, E.V. Sorokin, E.L. Kechutkina // *Durability of building materials, products and structures*. – 2018. – P. 170–174.
4. Yao, Y. Durability of concrete under combined mechanical load and environmental actions: Review / Y. Yao, Z. Wang, L. Wang // *Journal of Sustainable Cement-Based Materials*. – 2012. – Vol. 1, №. 1(2). – P. 2–15. DOI: 10.1080/21650373.2012.732917.
5. Vorechovska, D. Concrete structures under combined mechanical and environmental actions: Modelling of durability and reliability / D. Vorechovska, M. Somodikova, J. Podrouzek, D. Lehky, B. Teply // *Computers and Concrete*. – 2017. – Vol. 20, №. 1. – P. 99–110. DOI: 10.12989/CAC.2017.20.1.099.
6. Wittmann, F.H., Zhao, T., Jiang, F., Wan, X. Influence of combined actions on durability and service life of reinforced concrete structures exposed to aggressive environment // *Restoration of Buildings and Monuments*. – 2012. – Vol. 18, №. 2. – P. 105–112.

7. Glasser, F.P. Durability of concrete – Degradation phenomena involving detrimental chemical reactions / F.P. Glasser, J. Marchand, E. Samson // *Cement and Concrete Research*. – 2008. – Vol. 38, №. 2. – P. 226–246.
8. Basheer, L. Assessment of the durability of concrete from its permeation properties: Review / L., Basheer, J. Kropp, D.J. Cleland // *Construction and building materials*. – 2001. – Vol. 15, №. 2–3. – P. 93–103.
9. Rzhantsyn, A.R. The theory of calculating building structures for reliability / A.R. Rzhantsyn. – M.: Stroyizdat, 1978. – 239 p.
10. Solomatov, V.I. Chemical resistance of materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev, Yu.A. Sokolova. – 2nd ed., rev. and additionally. – M.: RAACS, 2001. – 284 p.
11. Karpenko, N.I. On modern methods of ensuring the durability of reinforced concrete structures / N.I. Karpenko, S.N. Karpenko, V.N. Yarmakovskiy, V.T. Erofeev // *Academia. Architecture and construction*. – 2015. – №. 1. – P. 93–102.
12. Pujonto, L.M. Durability of reinforced concrete structures of structures / L.M. Pujonto. – M.: DIA Publishing House, 2004. – 423 p.
13. Stepanova, V.F. Problems of ensuring the durability of concrete and reinforced concrete structures today / V.F. Stepanova, V.R. Falikman // *Second Polakov Readings: collection of scientific articles based on the materials of the international scientific and technical conference dedicated to the 105th anniversary of Prof. Alexei Filippovich Polak*. – Ufa: Reaktiv, 2017. – P. 97–111.
14. Stepanova, V.F. Monitoring and analysis of regulatory documents in the field of design of reinforced concrete structures according to their life cycle / V.F. Stepanova, V.R. Falikman, E.N. Koroleva // *Construction Materials*. – 2018. – №7. – P. 14–19. DOI: 10.31659/0585-430X-2018-761-7-14-19.
15. Bolotin, V.V. Methods of the theory of probability and the theory of reliability in the calculations of structures / V.V. Bolotin. – M.: Stroyizdat, 1982. – 351 p.
16. Selyaev, V.P. Probabilistic methods for assessing the durability of reinforced concrete bending elements / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, I.S. Petrov // *Academia. Architecture and construction*. – 2009. – №3. – P. 87–90.
17. Chemical resistance of concrete / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev // *Concrete and reinforced concrete*. – 1984. – №8. – P. 16–17.
18. Petrov, V.V. Calculation of structural elements interacting with aggressive environment / V.V. Petrov, I.G. Ovchinnikov, Yu.M. Shikhov. – Saratov: Saratov University, 1987. – 288 p.
19. Tuutti, K. Corrosion of steel in concrete / K. Tuutti // *Swedish Cement and Concrete Research Inst.* – Stockholm, 1982. – 469 p.
20. Bazant, Z. Physical model for steel corrosion in concrete sea structures theory / Z. Bazant // *Journal of the Structural Division*. – 1979. – №105 (ST6). – P. 1137–1153.
21. Calculation of flexible polymer concrete elements interacting with aggressive media / V.N. Zhuravleva, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov // *Technology and mechanization of waterproofing works of industrial, civil and energy structures*. – L.: Energiya, 1983. – P. 78–80.
22. Experimental method for determining degradation functions for polymer concrete / V.N. Zhuravleva, V.P. Selyaev, V.I. Solomatov // *Improving the durability of concrete transport structures*. – M., 1980. – P. 86–95.
23. Selyaev, V.P. Fundamentals of the theory of calculation of composite structures taking into account the action of aggressive area: Abstract of the dissertation of Doctor of Sciences / V.P. Selyaev. – M., 1984. – 36 p.
24. Degradation models for structural polymer concrete / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev, V.N. Zhuravleva // *Improving the durability of concrete of transport structures*. – M., 1982. – P. 27–31.
25. Selyaev, V.P. Physicochemical foundations of fracture mechanics of cement composites: monograph / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev. – Saransk: Publishing House of the Mordovian University, 2018. – 220 p.

УДК 691.327.33

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

Береговой Виталий Александрович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Капустин Андрей Егорович,
аспирант
E-mail: techbeton@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

Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Technology of Building Materials
and Wood Processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru

Kapustin Andrey Egorovich,
Postgraduate of the department «Technology
of Building Materials and Wood Processing»
E-mail: techbeton@pguas.ru

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РАСТВОРНОЙ ЧАСТИ НЕАВТОКЛАВНЫХ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОНОВ ПОВЫШЕННОЙ ПРОЧНОСТИ

В.А. Береговой, А.Е. Капустин

Исследовано влияние минеральных добавок различного типа на процесс формирования прочности твердеющего цементного камня. Установлены количественные показатели повышения прочности на сжатие цементных композиций в зависимости от вида и количества вводимого пластификатора. Проведена оценка эффективности активных минеральных добавок в сочетании с пластификатором. Произведена замена кварцевого наполнителя на кремнеземистые тонкомолотые породы без потери прочности.

Ключевые слова: портландцемент, активные добавки, пластификаторы, гранулометрия компонентов, прочность

DESIGN OF THE MORTAR PART OF HIGH-STRENGTH NON-AUTOCLAVED CELLULAR CONCRETES

V.A. Beregovoi, A. E. Kapustin

The influence of mineral additives of various types on the process of forming the strength of hardening cement stone is studied. Quantitative indicators of increasing the compressive strength of cement compositions, depending on the type and amount of plasticizer introduced, are established. The effectiveness of active mineral additives in combination with a plasticizer has been evaluated. The quartz filler has been replaced with silica fine-ground rocks without loss of strength.

Keywords: portland cement, active additives, plasticizers, granulometry of components, strength

Введение. В настоящее большое внимание уделяется повышению декоративно-художественных качеств архитектурных бетонов. Их цветные разновидности получают на основе дорогостоящих белых портландцементов, по большей части импортируемых из Турции или Египта. Снижения себестоимости бетонов можно достичь за счет минимизации расхода вяжущего на 1 м³. Очевидные решения связаны с подбором активных минеральных наполнителей [1...3], эффективно работающих в системе «цемент – пластификатор», а также снижением средней плотности материала за счет поризации его структуры при сохранении требуемой прочности.

Основная часть. Оптимизацию гранулометрического состава минеральных компонентов сырьевой смеси для изготовления легкого архитектурного бетона производили по критерию прочности на сжатие затвердевшего цементного камня. При постановке эксперимента базовый гранулометрический состав назначали в соответствии

с кривыми распределения отдельных фракций, обеспечивающих получение наиболее плотных смесей [1]. В качестве основных использовали четыре фракции: №1 – средняя (0,63...1,25 мм); №2 – мелкая (0,14...0,63 мм); №3 – очень мелкая ($S_{уд}=320...400 \text{ м}^2/\text{кг}$); №4 – пылевидная ($S_{уд}>450 \text{ м}^2/\text{кг}$).

Содержание последующей фракции уменьшали пропорционально величине коэффициента сбега K . В опытах диапазон варьирования величины K составлял 0,77...0,87: образцы №1, №4 ($K=0,87$); образцы №2, №5 ($K=0,82$); образцы №3, №6 ($K=0,77$).

Составы смесей для оценки влияния коэффициента сбега, а также вида и расхода цемента на прочность цементного камня приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Фракционный состав сырьевой смеси на 1 м^3

№ фр.	Материал	Номер состава смеси					
		1	2	3	4	5	6
4	Портландцемент СемI-42,5	408,9	370,2	331,4			
	Белый портландцемент СемI-52,5				408,9	370,2	331,4
	Микрокремнезем МК-85	49,3	44,0	39,9	49,3	44,0	39,9
	Пластификатор Melflux 2651F (0,7 %ПЦ)	2,9	2,6	2,3	2,9	2,6	2,3
3	Молотый кварцевый песок	471,9	454,1	433,2	471,9	454,1	433,2
2	Мелкий кварцевый песок	543,2	553,7	562,2	543,2	553,7	562,2
1	Средний кварцевый песок	623,9	675,4	731,0	623,9	675,4	731,0
	В/Ц	0,77	0,68	0,72	0,65	0,65	0,70

Влияние фракционного состава компонентов минеральной части на прочность цементного камня в разные сроки твердения показано на рис. 1.

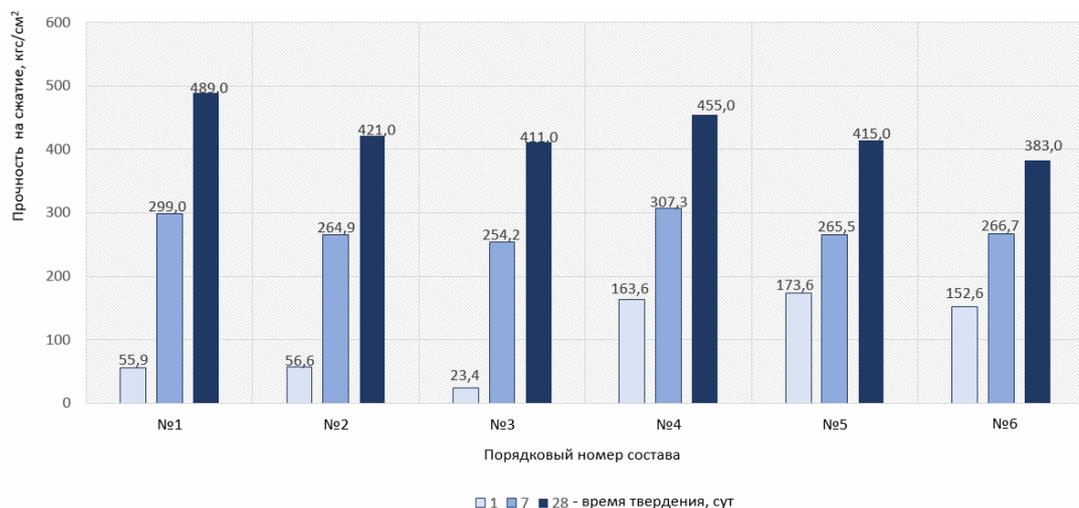


Рис. 1. Влияние фракционного состава и расхода вяжущего на прочность цементного камня (нумерация по табл. 1)

Анализ данных показывает, что оптимальная величина коэффициента сбега равна 0,87. Учитывая цель по минимизации удельного расхода портландцемента и тонкомолотого кварцевого песка, в качестве базовых для дальнейшей оптимизации приняты составы с коэффициентами сбега 0,82 и 0,87. В сравнении с серым аналогом использование белого цемента обеспечивает ускоренный набор прочности материала на начальном этапе твердения.

На втором этапе определяли оптимальный вид пластификатора, а также целесообразность замены микрокремнезема на активную минеральную добавку другого

химического состава. Их предварительный отбор осуществляли с учетом данных проведенных ранее исследований и рекомендуемого перечня добавок в бетоны и растворы [2, 3]. Рецептуры модифицированных составов приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Рецептуры модифицированных составов на 1 м³

№ фр.	Материал	Номер состава смеси					
		1 (база)	2	3	4	5	6
4	Белый портландцемент CemI-52,5	370,2	367,0	368,2	370,2	370,4	368,7
	Микрокремнезем МК-85	44,0			44,0	44,1	43,87
	Зола-унос		59,8				
	Метакаолин ВМК-45			54,5			
	Пластификатор (% от массы ПЦ):						
	Melflux 2651 F (0,7)	2,6	2,6	2,6			
	Melflux 5581 F (0,4)					1,5	
	Melflux 5581 F (0,7)				2,6		
	C-3 (3,0)						11,1
3	Молотый кварцевый песок	454,1	451,0	452,1	454,1	454,3	452,3
2	Мелкий кварцевый песок	553,7	549,5	550,7	553,7	554,0	551,5
1	Средний кварцевый песок	675,4	670,1	672,0	675,4	675,7	672,6
	В/Ц	0,64	0,76	0,68	0,64	0,68	0,76

Прочностные характеристики образцов в возрасте 1, 7 и 28 суток представлены на рис. 2.

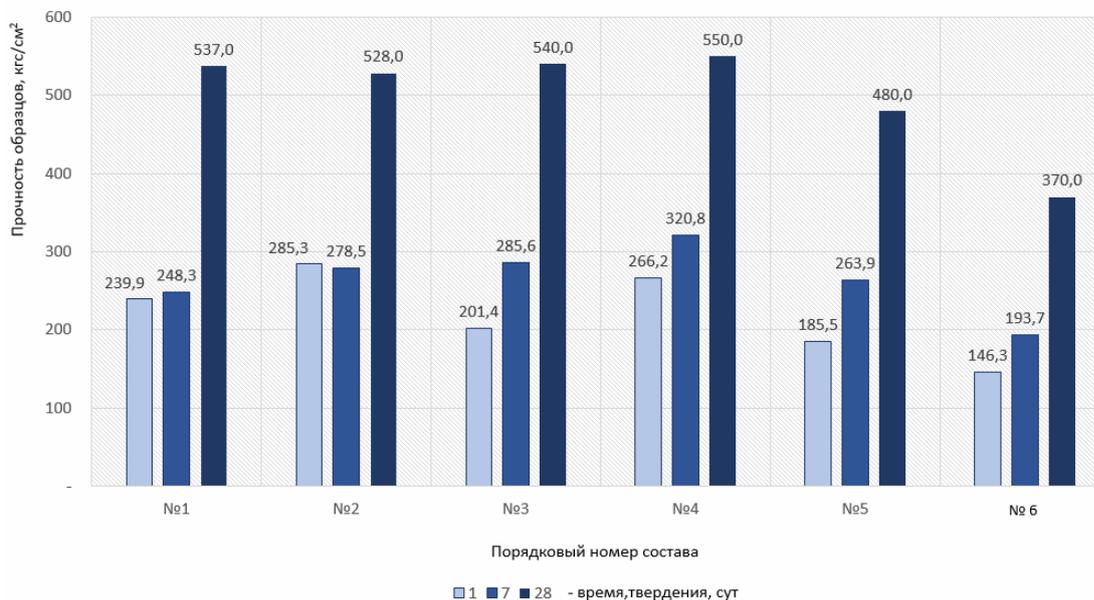


Рис. 2. Влияние вида микронаполнителя и пластификатора на прочность цементного камня (нумерация по табл. 2)

Согласно полученным результатам повышение стерического эффекта пластификации при введении пластификатора Melflux 5581 F, молекулы которого имеют более развитые боковые группы с усиленным латеральным взаимодействием, обеспечивает возрастание прочности цементного камня в возрасте 28 суток [4]. По абсолютной величине упрочняющего эффекта исследуемые активные минеральные добавки сопоставимы. Однако с учетом технологических особенностей получения ячеистых бето-

нов естественного твердения важно обеспечение ускоренного набора прочности в течение первых семи суток твердения. В связи с этим добавка метакАОлина является наиболее подходящей и была отобрана в качестве базового варианта при проектировании компонентного состава ячеистого бетона повышенной прочности.

Для снижения затрат на этапе подготовки сырьевых компонентов исследовали возможность частичной замены (до 50 %) молотого кварцевого песка на менее твердые минеральные аналоги. Составы смесей приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Рецептуры модифицированных составов на 1 м³

№ фр.	Материал	Номер состава смеси					
		1	2	3	4	5	6
4	Белый портландцемент CemI-52,5	383,6	408,9	411,0	411,0	408,9	426,8
	МетакАОлин ВМК-45	80,7	60,8	60,8	60,8	60,8	63,43
	Гиперпластификатор Melflux 5581 F (0,7 %)	2,7	2,9	2,9	2,9	2,9	3,0
3*	Молотый кварцевый песок	470,6	235,9	237,0	237,0	235,9	246,2
	Молотое тарное стекло бутылочное		223,4				
	Опока природная			215,0			
	Опока дегидратированная (T=450°C)				215,0		
	Молотое тарное стекло хрустальное					223,4	
	Диатомит дегидратированный (T=450°C)						190,8
2	Мелкий кварцевый песок (0,14...0,63мм)	540,8	543,2	546,3	546,3	543,2	552,6
1	Средний кварцевый песок (0,63...1,25 мм)	621,5	625,0	627,0	627,0	625,0	635,4
	В/Ц	0,68	0,69	0,69	0,76	0,70	0,76

* удельная поверхность частиц ($S_{уд}=400 \text{ м}^2/\text{кг}$)

Прочностные характеристики образцов представлены на рис. 3.

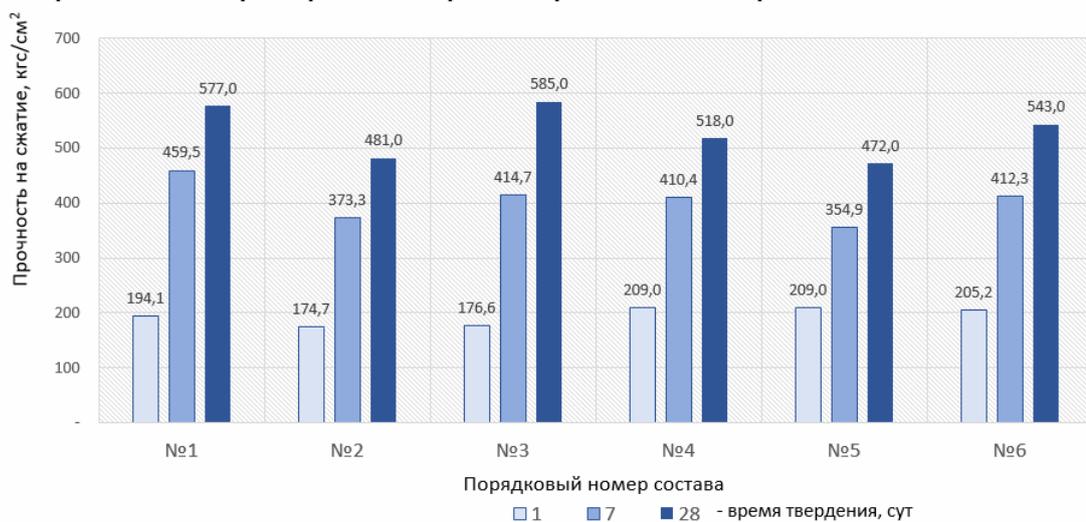


Рис. 3. Влияние вида тонкомолотого наполнителя на прочность цементной матрицы (нумерация по табл. 3)

Согласно полученным данным в проектируемых составах использование тонкомолотой природной опоки и дегидратированного диатомита в качестве наполнителя

является обоснованным. Это позволяет заменить до 50 % молотого кварцевого песка на менее абразивные сырьевые компоненты, а в случае использования природной опоки сопровождается также ростом прочности на сжатие. Механизм позитивного влияния указанных добавок выражается в пуццоланизации процесса гидратации портландцемента в их присутствии, что влияет на морфологию гидросиликатов кальция типа C-S-H(1) и степень их закристаллизованности [5...7].

Выводы

Для повышения прочности растворной части неавтоклавных ячеистых бетонов в качестве компонентов целесообразно использовать пластификатор Melflux 5581 F в количестве 0,7 % от массы цемента, а в качестве активной добавки – метакаолин ВМ-45.

Экономия цемента обеспечивается путем подбора гранулометрического состава минеральной части цементного композита согласно кривым максимальной плотности с коэффициентом сбега последовательно расположенных фракций, равным 0,82.

Список литературы

1. Абайдулина, Т.Н. Проектирование состава асфальтобетона / Т.Н. Абайдулина, М.В. Кудоманов, И.А. Пахомов. – Тюмень: РИЦ ФГБОУ ВПО ТюмГАСУ, 2015. – С. 9–10.
2. ГОСТ 21211-2008. Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. – М.: Стандартинформ, 2010. – 17 с.
3. Комплексный модификатор с метакаолином для получения цементных композитов с высокой ранней прочностью и стабильностью / А.А. Кирсанова, Л.Я. Крамар, Т.Н. Черных [и др.] // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – Т. 13, № 1. – С. 49–56.
4. Юхневский, П.И. О механизме пластификации цементных композиций добавками / П.И. Юхневский // Строительная наука и техника. – 2010. – №1–2. – С. 64–69.
5. Шелудяков, К.В. Влияние добавки «микрокремнезем – поликарбоксилатный суперпластификатор» на гидратацию цемента, структуру и свойства цементного камня / К.В. Шелудяков, Л.Я. Крамар, Б.Я. Трофимов, Н.А. Мамаев // Цемент и его применение. – 2013. – №2. – С. 114–118.
6. Эмралиева, С.А. Влияние морфологических особенностей пуццолановых добавок на эксплуатационные свойства строительных растворов / С.А. Эмралиева, В.А. Хомич // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2009. – № 35(168). – С. 33–38.
7. Калашников, В.И. Наногидросиликатные технологии в производстве бетона / В.И. Калашников, В.Т. Ерофеев, М.Н. Мороз, И.Ю. Троянов, О.В. Суздальцев // Строительные материалы. – 2014. – №5. – С. 88–92.

References

1. Abaydullina, T.N. Designing the composition of asphalt concrete / T.N. Abaydullina, M.V. Kutomanov, I.A. Pakhomov. – Tyumen: RITS FGBOU VPO Tyumgasu, 2015. – P. 9–10.
2. GOST 211-2008. Additives for concrete and mortar. General technical conditions. – M.:Standartinform, 2010. – 17 p.
3. Complex modifier with metakaolin for the production of cement composites with high early strength and stability / A.A. Kirsanova, L.Y. Kramar, T.N. Chernykh // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. – 2013. – Vol. 13, No. 1. – P. 49–56.
4. Yukhnevsky, P.I. On the mechanism of plasticizing cement compositions with additives / P.I. Yukhnevsky // Construction Science and Technology. – 2010. – №1–2. – P. 64–69.
5. Sheludyakov, K.V. Influence of the additive «microsilica-polycarboxylate superplasticizer» on the hydration of cement, structure and properties of cement stone / K.V. She-

ludyakov, L.Y. Kramar, B.Y. Trofimov, N.A. Mamaev // Cement and its application. – 2013. – No. 2. – P. 114–118.

6. Emralieva, S.A. The influence of morphological features of pozzolanic additives on the operational properties of building solutions / S.A. Emralieva, V.A. Khomich // Bulletin of the South Ural State University. Series: Construction and Architecture. – 2009. – № 35(168). – P. 33–38.

7. Kalashnikov, V.I. Nanohydrosilicate technologies in concrete production / V.I. Kalashnikov, V.T., Erofeev M.N. Moroz, I.Yu. Troyanov, O.V. Suzdaltsev // Building material. – 2014. – №5. – P. 88–92.

УДК 69:519.7

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

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

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

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

АНАЛИТИЧЕСКОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ КОМПОЗИТОВ: МНОГОМОДЕЛЬНОСТЬ, СТРУКТУРА МОДЕЛИ, ДЕКОМПОЗИЦИЯ, КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА

И.А. Гарькина, А.М. Данилов

Приводятся методологические принципы анализа, синтеза и проектирования композиционных материалов как сложных систем. Свойства существования, познаваемости, слабой предсказуемости рассматриваются как фундаментальные свойства сложных систем (никакое сколь угодно подробное знание поведения системы не позволяет точно предсказать ее поведение). При аналитическом конструировании материала учитываются принципы многомодельности, декомпозиции, иерархического строения модели, минимизации размерности критериального пространства. Приводится общая схема проектирования системы и основные ее процедуры. Предлагаются методики объективной оценки качества и прогнозирования свойств композиционных материалов.

Ключевые слова: сложные системы, композиты, аналитическое конструирование, методологические принципы, прогнозирование свойств

ANALYTICAL DESIGN OF COMPOSITES: MULTI-MODEL, MODEL STRUCTURE, DECOMPOSITION, QUALITY CRITERIA

I.A. Garkina, A.M. Danilov

Methodological principles of analysis, synthesis and design of composite materials as complex systems are given. The properties of existence, cognizability, and poor predictability are considered as fundamental properties of complex systems (no amount of detailed knowledge of the behavior of a system can accurately predict its behavior). In the analytical design of the material, the principles of multi-model, decomposition, hierarchical structure of the model, and minimization of the dimension of the criterial space are taken into account. The general scheme of the system design and its basic procedures are given. Methods for the objective assessment of the quality and predicting the properties of composite materials are proposed.

Keywords: complex systems, composites, analytical design, methodological principles, property prediction

1. Принципы анализа, синтеза и проектирования композитов

До сих пор не потеряли свою актуальность методологические вопросы анализа, синтеза и проектирования композиционных материалов как сложных систем [1, 2]. Возможность декомпозиции системы зависит от возможности указания в ней элементов, способных выполнять относительно независимые цели для достижения общей цели системы; для подсистемы – формулировка подцели (системообразующий фактор) (цели подсистем не должны противоречить общей цели системы). Поведение системы определяется структурой системы (внутреннее строение: элементы, связи, атрибуты). Фундаментальными свойствами сложных систем являются свойства существования, познаваемости, слабой предсказуемости (никакое сколь угодно подробное знание поведения системы не позволяет точно предсказать ее поведение). Изучение систем ограничено их сложностью или невозможностью провести натурный или иной эксперимент; единственно возможным методом исследования является моделирование: без модели (любые гипотеза, описание содержат обобщенную модель явлений) нет познания.

Модель должна воспроизводить интересующие свойства и характеристики оригинала с существенными преимуществами и удобствами перед ним; при ее построении надо учитывать принципы многомодельности, декомпозиции, иерархического строения модели, минимизации размерности пространства критериев и др. Исходная модель сложной системы дает общее представление и строится на начальном этапе проектирования. Далее проводится когнитивное моделирование (спуск по уровням от общих моделей концептуального уровня к частным представлениям системы) с последовательным дополнением деталей для более адекватного отражения различных аспектов при конкретной реализации сложной системы (чем сложнее проектируемый объект, тем больше уровней иерархии) [3].

Таким образом, общая схема проектирования системы должна включать процедуры: поэтапный структурный синтез (начальный вариант структуры оценивается исходя из требований технического задания); составление, анализ, оптимизация параметров математической модели; статистический анализ. Если выходные параметры не удовлетворяют требованиям технического задания, то производится параметрическая оптимизация, изменение структуры объекта или корректировка ТЗ (требуется согласие заказчика). При достижении требований к выходным параметрам проводится статистический анализ результатов проектирования. Именно такой подход нами и используется при проектировании композиционных материалов как сложных систем.

2. Объективизация оценки качества композиционных материалов

При оценке качества материалов широко используются методы экспертных оценок. К сожалению, до сих пор мало уделяется внимания вопросам формализации получения оценок. Одним из путей решения задачи нахождения функционала является аппроксимация функции отклика некоторой приближающей функцией. Например, можно представить комплексный показатель в виде линейной или квадратичной функции единичных или частных критериев (показателей). Коэффициенты этой функции и будут весовыми коэффициентами соответствующих частных критериев.

В случае линейной функции

$$Y = \sum_{i=1}^m \alpha_i y_i, \quad \sum_{i=1}^m \alpha_i = 1.$$

Если используется итерационная процедура при поиске коэффициентов α_i , то она продолжается до выполнения условия

$$\left| \alpha_i^{(h)} - \alpha_i^{(h-1)} \right| < \varepsilon, \quad i = \overline{1, m},$$

где ε – заданная малая величина.

Результатом описанной итерационной процедуры является получение матрицы весовых коэффициентов

$$A^h = \left[\alpha_1^{(h)}, \alpha_2^{(h)}, \dots, \alpha_m^{(h)} \right]^T = \left[\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m \right]^T.$$

В частности, экспертами определялись весовые коэффициенты для оценки качества эпоксидного композита. На первой итерации «степень доверия» ко всем экспертам принималась одинаковой ($k_j^{(0)} = 1$). На второй итерации весовые коэффициенты определялись с учётом разнородности экспертов и их различной компетентности (коэффициенты $k_j^{(1)}$ отличаются друг от друга) в виде

$$\begin{cases} k_j^{(1)} = \frac{\alpha}{1 + \delta_j^{(1)}}, j = \overline{1, r}; \\ \sum_{j=1}^r k_j^{(1)} = r. \end{cases}$$

$$\alpha_i^{(r)} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r k_j^{(1)} \alpha_{ij}, i = \overline{1, m}. \delta_j^{(1)} = \sum_{i=1}^m |\alpha_i^{(1)} - \alpha_{ij}|, j = \overline{1, r}.$$

При указанных условиях

$$k_j^{(1)} = \frac{r \prod_{\omega=1}^r (1 + \delta_{\omega}^{(1)})}{(1 + \delta_j^{(1)}) \sum_{\mu=1}^r \left[\prod_{\omega=1}^r (1 + \delta_{\omega}^{(1)}) \cdot \frac{1}{1 + \delta_{\mu}^{(1)}} \right]}, i = \overline{1, r},$$

$$\delta_1^{(1)} = 0; \delta_2^{(1)} = 0,2; \delta_3^{(1)} = 0,2; \delta_4^{(1)} = 0,4; \delta_5^{(1)} = 0,4;$$

$$\prod_{\omega=1}^r (1 + \delta_{\omega}^{(1)}) = 2,82, \sum_{\mu=1}^r \left(\prod_{\omega=1}^r (1 + \delta_{\omega}^{(1)}) \cdot \frac{1}{1 + \delta_{\mu}^{(1)}} \right) = 11,55,$$

$$k_1^{(1)} = 1,22; k_1^{(1)} = \frac{5 \cdot 2,82}{1 \cdot 11,55} = 1,22; k_2^{(1)} = k_3^{(1)} = 1,02; k_4^{(1)} = k_5^{(1)} = 0,87;$$

$$\alpha_i^{(2)} = \frac{1}{r} \sum_{j=1}^r k_j^{(1)} \alpha_{ij}; \alpha_1^{(2)} = 0,2; \alpha_2^{(2)} = 0,3; \alpha_3^{(2)} = 0,5.$$

Комплексный показатель

$$Y = 0,2 y_1 + 0,3 y_2 + 0,5 y_3;$$

наиболее значимым показателем является прочность.

Рассмотрим определение весовых коэффициентов и методом попарного сопоставления. Здесь исходно предполагается линейная зависимость комплексного от единичных показателей; $Y_i = \sum_{j=1}^m \alpha_i y_{ij}, \sum_{j=1}^m \alpha_i = 1$.

Комплексный показатель $Y_i = \sum_{j=1}^m \alpha_i^{(0)} y_{ij} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m y_{ij}$ на первом этапе вычисляется по

значениям весовых коэффициентов $\alpha_1^{(0)} = \alpha_2^{(0)} = \dots = \alpha_m^{(0)} = \frac{1}{m}$.

Затем определяются коэффициенты корреляции оценок y_i с оценкой Y :

$$\rho_i = \frac{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i) (y_j - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2} \sqrt{\sum_{j=1}^n (y_j - \bar{y})^2}}$$

и уточнённое значение весовых коэффициентов

$$\alpha_i^{(1)} = \frac{\rho_i}{\sum_{i=1}^m \rho_i},$$

а по ним и уточнённое значение оценки

$$Y_j = \sum_{i=1}^m \alpha_i^{(1)} y_{ij}.$$

Итерационная процедура поиска α_i^ℓ повторяется до выполнения условия

$$\left| \alpha_i^{(\ell)} - \alpha_i^{(\ell-1)} \right| < \varepsilon.$$

Предложенная методика позволяет получить аналитическую зависимость обобщенного критерия качества по полиномиальным зависимостям частных критериев в факторном пространстве, полученным с использованием методов планирования эксперимента:

$$Y = Y(x_1, x_2, \dots, x_p) = Y(y_1(x_1, x_2, \dots, x_p), y_2(x_1, x_2, \dots, x_p), \dots, y_m(x_1, x_2, \dots, x_p)).$$

Достоинством метода является возможность произвольного выбора начальных значений весовых коэффициентов. Низший иерархический уровень показателей определяется единичными показателями простейших свойств, формирующих качество. Показателем качества высшего иерархического уровня является интегральный показатель. Примером реализации такого подхода служит иерархическая структура критериев качества радиационно-защитного композита [4]. Естественно, указанными выше методологическими принципами не исчерпываются все концептуальные положения оценки качества. Однако они являются основополагающими. Превентивное или корректирующее воздействия на объект с целью изменения качества осуществляются по результатам оптимизации показателей свойств и качества в целом; прогнозирования качества; определения конкурентоспособности и др. Вопросы практической реализации подробно рассматриваются в [5...8].

3. Прогнозирование свойств материалов

Для прогнозирования свойств материалов использовались нижеприведенные модели [9, 10].

Регрессионная модель. Используется для определения зависимости отклика от количественных факторов \mathbf{x} и ошибок ε наблюдения отклика:

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

При равнозначности и некоррелированности наблюдений $E[\varepsilon_u^2] = \sigma^2$, $E[\varepsilon_u] = 0$, $E[\varepsilon_u \varepsilon_v] = 0$, $u \neq v$ справедливо:

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

Предполагается, что на отклик воздействуют только количественные факторы; фактически представляет собой сочетание аппарата метода наименьших квадратов и техники статистической проверки гипотез. Если функция отклика f есть линейная комбинация базисных функций от факторов (модель регрессионного анализа), то

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

или

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

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

На практике чаще всего используются *полиномиальные модели*:

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

(если ввести фиктивную переменную $x_0 \equiv 1$, то модель можно представить в

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

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

Модель дисперсионного анализа. Здесь изучается зависимость отклика от *качественных* факторов и ошибок наблюдений отклика:

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

x_i – дискретные переменные, обычно целочисленные (часто либо 0, либо 1).

Если количественный фактор принимает в эксперименте небольшое число различных значений, то его можно рассматривать как качественный.

Метод ковариационного анализа. Является сочетанием элементов регрессионного и дисперсионного анализа; учитываются воздействия на отклик как количественных, так и качественных факторов. Обычно адекватность математической модели проверяется по известному F -критерию Фишера. Возможности практического использования полученных моделей существенно определяются:

– априорным ранжированием факторов выбором размахов (разности между максимальным и минимальным натуральными значениями факторов), определяющих границы области варьирования факторов;

– выбором интервалов варьирования факторов в факторном пространстве (половина размаха варьирования фактора Δx_i^H задает область $(x_{i0}^H + \Delta x_i^H; x_{i0}^H - \Delta x_i^H)$ действия для данного плана);

– удачным выбором функции отклика (зависимость математического ожидания отклика от факторов $E[y/x] = \eta = f(x_1, x_2, \dots, x_k, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$; параметры модели $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ априори неизвестны и подлежат определению из эксперимента).

В полиномиальном уравнении регрессии эффекты взаимодействия факторов (зависимости изменения эффекта одного фактора от уровней других факторов) определяются параметрами при членах, включающих произведения факторов (парные взаимодействия – $x_i x_j$, тройные – $x_i x_j x_k$ и т.д.).

Приведенный подход использовался при исследованиях для прогнозирования свойств эпоксидных композитов на аппретированном наполнителе [11] (на основе отходов производства оптического стекла (ОПОС) и технического углерода (ТУ)). Предварительное ранжирование факторов, выбор размахов и интервалов их изменения, эффективный выбор функции отклика осуществлялись на основе когнитивного моделирования, а также с учетом данных экспертных оценок. В качестве функций отклика последовательно рассматривались предел прочности (МПа) при сжатии эпоксидного связующего (ЭС) на основе отходов производства оптического стекла и технического углерода соответственно. Были получены модели:

$$R_{сж}^{\text{ОПОС}} = 163 + 32,9x_1 - 16,7x_2 - 1,17x_1^2 - 6,17x_2^2 + 8,88x_1^2x_2 - 0,86x_1x_2^2 - 12x_1^3 - 7,87x_2^3;$$

$$R_{сж}^{\text{ТУ}} = 141 + 29x_1 - 20,1x_2 - 0,5x_1^2 - 7x_2^2 + 10,7x_1^2x_2 - 2,68x_1x_2^2 - 11,3x_1^3 + 9,46x_2^3,$$

где x_1, x_2 – кодированные значения объемной степени наполнения и расчётной толщины слоя аппрета (ЭС на основе ОПОС или ТУ соответственно). Для всех исследованных составов экстремальные значения предела прочности при сжатии достигаются при промежуточных значениях варьлируемых факторов; область наиболее

интенсивных структурных трансформаций в ЭС на основе ОПОС определяется неравенствами

$$0,1 < v_f < 0,2 ;$$

$$0,4 < v_f < 0,6 .$$

Бизэкстремальный характер полученных зависимостей отражает структурные трансформации в эпоксидном связующем. Для связующего на основе ТУ характерны несколько меньшие по сравнению с составами, наполненными ОПОС, значения предела прочности при сжатии. Управление прочностью ЭС на основе тонкодисперсного ОПОС целесообразно аппретированием наполнителя (позволяет повысить прочность на 7...12 %). При малой дисперсности наполнителя аппретирование поверхности устраняет недостаток наполнителя.

Выводы

Разработаны методологические принципы анализа, синтеза и проектирования композиционных материалов как сложных систем.

Приводится общая схема проектирования системы и основные ее процедуры; учитываются многомодельность, возможность декомпозиции, иерархическое строение модели, необходимость минимизации размерности критериального пространства.

Предлагаются методики объективной оценки качества и прогнозирования свойств композиционных материалов.

Список литературы

1. Гарькина, И.А. Эволюция представлений о композиционных материалах с позиций смены парадигм / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2018. – № 1–2. – С. 60–62.
2. Королев, Е.В. Перспективы развития строительного материаловедения / Е.В. Королев // Academia. Архитектура и строительство. – 2020. – № 3. – С. 143–159.
3. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование при синтезе композиционных материалов как сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2009. – № 3–4 (603–604). – С. 30–37.
4. Баженов, Ю.М. Системный анализ в строительном материаловедении / Ю.М. Баженов, И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев. – М.: Библиотека научных разработок и проектов МГСУ, 2012. – 432 с.
5. Смирнов, В.А. Иерархическое моделирование строительных материалов как дисперсных систем: специализированная программная реализация / В.А. Смирнов, Е.В. Королев // Строительные материалы. – 2019. – № 1–2. – С. 43–53.
6. Данилов, А.М. Методология проектирования сложных систем при разработке материалов специального назначения / А.М. Данилов, И.А. Гарькина // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 1 (625). – С. 80–85.
7. Гарькина, И.А. Опыт разработки композиционных материалов: некоторые аспекты математического моделирования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2013. – № 8 (656). – С. 28–33.
8. Селяев, В.П. Аналитическое описание диаграмм деформирования бетона для расчета прогибов пластин из нелинейно деформируемого материала / В.П. Селяев, П.В. Селяев, М.Ф. Алимов, Е.В. Сорокин // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 3 (77). – С. 22–30.
9. Низина, Т.А. Оптимизация составов мелкозернистых бетонов, модифицированных комплексными добавками на основе дисперсных волокон и активных минеральных наполнителей / Т.А. Низина, В.П. Селяев, А.С. Балыков, Д.И. Коровкин, В.В. Володин // Вестник Волжского регионального отделения Российской академии архитектуры и строительных наук. – 2018. – № 21. – С. 206–214.

10. Иноземцев, А.С. Структурная модель течения пластифицированных цементно-минеральных смесей / А.С. Иноземцев, Е.В. Королёв, Т.К. Доунг // Строительные материалы. – 2020. – № 4–5. – С. 90–96.

11. Данилов, А.М. Радиационно-защитные композиты на эпоксидном вяжущем: модификация, моделирование, оптимизация структуры и свойств / А.М. Данилов, А.Н. Круглова // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – № 31–2 (50). – С. 105–111.

References

1. Garkina, I.A. Evolution of ideas about composite materials from the standpoint of a paradigm shift / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Building materials. – 2018. – №1–2. – P. 60–62.

2. Korolev, E.V. Prospects for the development of building materials science / E.V. Korolev // Academia. Architecture and construction. – 2020. – № 3. – P. 143–159.

3. Garkina, I.A. Cognitive modeling in the synthesis of composite materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Bulletin of higher educational institutions. Construction. – 2009. – № 3–4 (603–604). – P. 30–37.

4. Bazhenov, Yu.M. System analysis in building materials science / Yu.M. Bazhenov, I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev. – M.: Library of scientific developments and projects of MGSU, 2012. – 432 p.

5. Smirnov, V.A. Hierarchical modeling of building materials as dispersed systems: specialized software implementation / V.A. Smirnov, E.V. Korolev // Building materials. – 2019. – № 1–2. – P. 43–53.

6. Danilov, A.M. Methodology for the design of complex systems in the development of special-purpose materials / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Bulletin of higher educational institutions. Construction. – 2011. – № 1 (625). – P. 80–85.

7. Garkina, I.A. Experience in the development of composite materials: some aspects of mathematical modeling / I.A. Garkina, A.M. Danilov // Bulletin of higher educational institutions. Construction. – 2013. – № 8 (656). – P. 28–33.

8. Selyaev, V.P. Analytical description of concrete deformation diagrams for calculating deflections of plates from nonlinearly deformable material / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev, M.F. Alimov, E.V. Sorokin // Construction and reconstruction. – 2018. – № 3 (77). – P. 22–30.

9. Nizina, T.A. Optimization of the composition of fine-grained concrete, modified with complex additives based on dispersed fibers and active mineral fillers / T.A. Nizina, V.P. Selyaev, A.S. Balykov, D.I. Korovkin, V.V. Volodin // Bulletin of the Volga Regional Branch of the Russian Academy of Architecture and Civil Engineering. – 2018. – № 21. – P. 206–214.

10. Inozemtsev, A.S. Structural model of the flow of plasticized cement-mineral mixtures / A.S. Inozemtsev, E.V. Korolev, T.K. Doung // Building materials. – 2020. – № 4–5. – P. 90–96.

11. Danilov, A.M. Radiation-protective composites on epoxy binder: modification, modeling, optimization of structure and properties / A.M. Danilov, A.N. Kруглова // Bulletin of the Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Construction and architecture. – 2013. – № 31–2 (50). – P. 105–111.

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

Учаева Татьяна Владимировна,
кандидат экономических наук,
доцент кафедры «Экономика, организация
и управление производством»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

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

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Uchaeva Tatiana Vladimirovna,
Candidate of Economic Sciences, Associate
Professor of the department «Economics,
Organization and Management»
E-mail: uchaevatv@mail.ru

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

ОЦЕНКА РИСК-МЕНЕДЖМЕНТА ПРОЦЕССА ОКРАШИВАНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ

Т.В. Учаева, В.И. Логанина

Приведены сведения о риск-менеджменте процесса окрашивания строительных изделий и конструкций. Разработана карта оценки рисков в области качества. Показано, что применение подложек с поверхностной пористостью более 5 % способствует возникновению риска в категории «очень высокий уровень риска», что требует незамедлительной разработки и принятия мер для снижения риска.

Ключевые слова: окраска, риск-менеджмент процесса, вероятность наступления события, карта оценки рисков

RISK MANAGEMENT ASSESSMENT OF THE PAINTING PROCESS OF BUILDING PRODUCTS AND STRUCTURES

T.V. Uchaeva, V.I. Loganina

Information on the risk management of the process of painting building products and structures is given. A quality risk assessment map has been developed. It has been shown that the use of substrates with a surface porosity of more than 5 % contributes to the emergence of a risk in the «very high level of risk» category, which requires immediate development and implementation of measures to reduce the risk.

Keywords: painting, process, risk management, probability of an event occurrence, risk assessment map

Любая организация всегда стремится к максимизации эффективности своей деятельности, что требует сознательного принятия определенного набора рисков, вызванных воздействием внешних и внутренних факторов.

Одной из важнейших задач организации является управление рисками в системе менеджмента качества [1–3]. Управление рисками позволяет руководству эффективно действовать в условиях неопределенности и связанных с ней рисков и использовать возможности, увеличивая потенциал для роста стоимости компании.

Система риск-менеджмента в первую очередь направлена на достижение баланса между получением прибыли и сокращением убытков в деятельности предприятия и должна стать частью системы управления предприятием. Только при соблюдении этих условий использование системы риск-менеджмента будет эффективным.

Подход, основанный на рисках, наиболее подробно рассмотрен в стандартах ГОСТ Р ИСО 31000, ГОСТ Р ИСО 9001. В стандарте ГОСТ Р ИСО 31000-2019 определен процесс риск-менеджмента в организации, который осуществляется по следующей схеме (рис. 1).

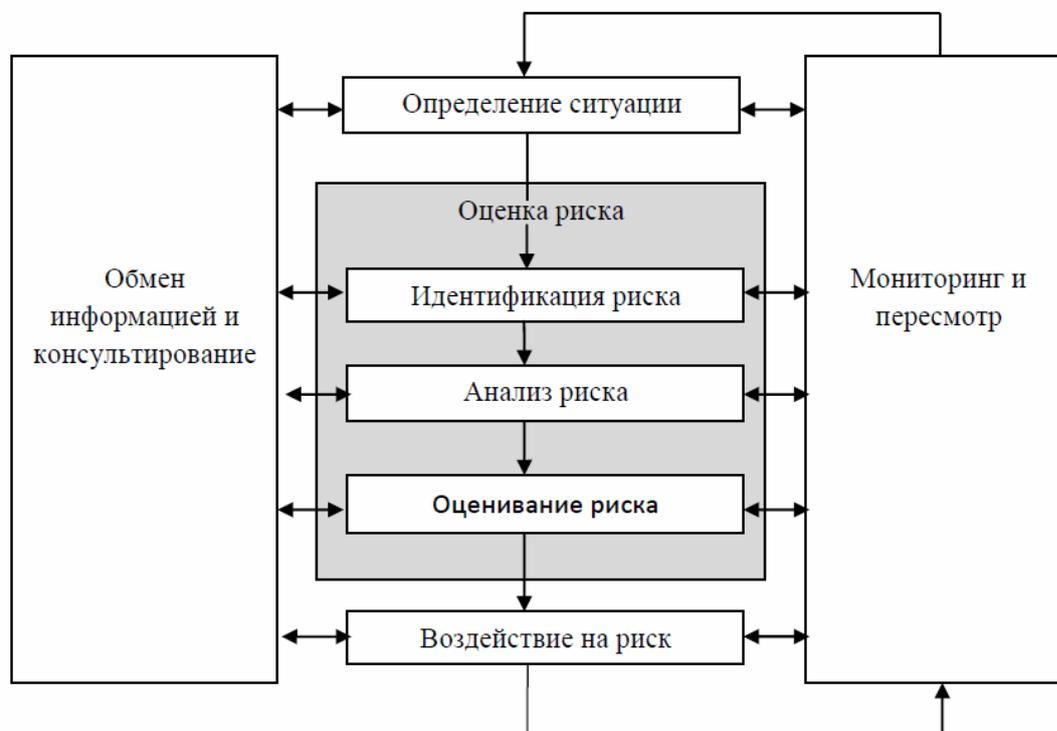


Рис. 1. Процесс риск-менеджмента

Учитывая высокие трудозатраты на выполнении отделочных работ (около 30 % от всех трудозатрат при строительстве), важно не только оценивать качество уже созданных покрытий, но и проводить постоянный анализ информации о процессах их разработки и создания, с тем чтобы свести к минимуму затраты на устранение брака [4–6].

Рассмотрим риск-менеджмент процесса окрашивания строительных изделий и конструкций. Проведенные ранее исследования установили связь стойкости лакокрасочных покрытий с качеством их внешнего вида [7–9]. На формирование качества внешнего вида покрытий оказывают влияние реологические свойства краски, способ ее нанесения и т.д. Цементная подложка характеризуется неравномерностью распределения пор по простиранию поверхности. Проведенные замеры шероховатости поверхности подложек из цементно-песчаного раствора показали, что коэффициент вариации показателей шероховатости в некоторых случаях составляет до 40 %. Это, несомненно, оказывает влияние на формирование качества внешнего вида покрытий и их долговечность.

Методом FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) – «Анализ характера и последствий отказов» [10–14] – с использованием приоритетного коэффициента риска (числа риска) K_p было установлено, что значительный риск для предприятия наблюдается при окраске неподготовленной поверхности; риск предприятия составляет в этом случае $K_p = 120–150$, т.е. есть необходимость проведения последующих этапов анализа для выявления причин отказов и методов их устранения. Полученные значения коэффициентов риска в случае нанесения красок на зашпатлеванную поверхность не превышают предельное значение $K_{рп}$, равное $K_{рп} = 100$ [15].

Для разработки карты риск-менеджмента процесса окрашивания продукции строительного назначения применяли пятибалльную шкалу показателей вероятности «O» (табл. 1) и тяжести последствий «S» (табл. 2) риска по каждой из причин.

Значение показателя «О»

Вероятность появления данного риска	Описание	Балл «О»
Очень высокая	– высокая возможность наступления события в ближайший краткосрочный период (вероятность 75–100 %); – возможность наступления события – несколько раз за отчетный промежуток времени; – данное событие недавно имело место	5
Высокая	может произойти в большинстве случаев (вероятность 50–75 %)	4
Умеренная	возможность наступления события в отчетном промежутке времени (вероятность 25–50 %)	3
Относительно низкая	может произойти, вероятность происшествия менее 25 % (не слышали о таких случаях)	2
Низкая	– низкая вероятность наступления события за отчетный промежуток времени; – событие в прошлом не происходило	1

Т а б л и ц а 2

Значение показателя «S»

Значимость последствий данного риска	Описание	Балл «S»
Очень опасное	Основные функции (характеристики) продукции/услуги не соответствуют установленным требованиям. Срыв утвержденных сроков	5
Опасное	Специальные характеристики продукции/услуги отклоняются от нормы, при этом: – продукция в целом работоспособна, но ряд ее основных функций выполняется недостаточно эффективно (потенциально сбойная ситуация); – продукция неработоспособна с потерей одной из основных функций (сбойная ситуация) – срыв утвержденных сроков	4
Умеренное	Продукция/услуга в целом работоспособна, небольшое нарушение производственного процесса, но при этом может потребоваться переделка вплоть до 100 % продукции, т.к. отдельные вспомогательные функции выполняются недостаточно эффективно. Незначительное отклонение по срокам от плана	3
Слабое	Продукция работоспособна, но отдельные ее неосновные функции выполняются недостаточно эффективно. Рисковое событие (потенциальное несоответствие) вызывает незначительное нарушение производственного процесса. Отдельные неосновные функции и характеристики продукции не соответствуют ожиданиям потребителя, при этом может потребоваться доработка части продукции	2
Незначительное	Рисковое событие (несоответствие) не вызывает последствий и/или не приводит к заметным для потребителя последствиям	1

Путем перемножения «O» и «S» определяли приоритетное число риска «R» (табл. 3). Результаты анализа и расчетов приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 3

Категория риска «R»

Приоритетное число риска $R = O \times S$	Категория риска	Организационные задачи
1-4	низкий уровень риска	в этом случае не требуется принятие дополнительных мер
5-8	умеренный уровень риска	следует начать реализацию действий по снижению риска в течение трех месяцев
9-15	высокий уровень риска	необходимо принять меры для снижения в течение 1 месяца (при наличии ресурсов)
16-25	очень высокий уровень риска	требуется незамедлительная разработка и принятие мер для снижения риска

Т а б л и ц а 4

Карта оценки рисков в области качества

Процесс «Окраска изделий»

Риск	Причина появления риска	Q-оценка вероятности появления данного вида риска	S-оценка значимости последствий для данного вида риска	$R = Q * S$	Мероприятия по снижению или устранению риска	Срок и ответственный исполнитель	Мониторинг результатов (повторная оценка риска)		
							Q	S	R
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Использование краски с просроченным сроком хранения	1. В производственных подразделениях не отслеживается срок хранения 2. Нет возможности купить краску	1	3	3	1. Сформировать статистику цеха по объему необходимого количества краски 2. Поиск новых поставщиков	Начальник отдела снабжения			
Применение подложек с поверхностной пористостью более 5%	Не отслеживается технология выполнения малярных работ	4	4	16	Подложки с пористостью более % необходимо шпатлевать	Мастер			
Применение краски с вязкостью, не соответствующей рекомендациям	Не отслеживается технология выполнения малярных работ	4	4	16	Проверять вязкость краски перед нанесением с помощью вискозиметра ВЗ-4	Мастер			
Окрашивание при температуре воздуха ниже рекомендуемой	Не отслеживается технология выполнения малярных работ	3	4	12	Соблюдать рекомендации нормативной документации	Мастер			

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Нанесение непере-мешанной краски	Не отслежива-ется технология выполнения малярных работ	1	4	4	Проверять однородность краски перед нанесением	Мастер			
Нанесение вто-рого слоя краски ранее срока (1-й слой краски не высох)	Не отслежива-ется технология выполнения малярных работ	1	3	3	Проверять степень отвер-ждения 1-го слоя краски	Мастер			
Плохая подго-товка поверхно-сти перед окрас-кой (очистка поверхности от пыли и грязи и т.д.)	Не отслежива-ется технология выполнения малярных работ	3	5	15	Соблюдать рекомендации нормативной документации	Мастер			
Отсутствие грунтовочного слоя	Не отслежива-ется технология выполнения малярных работ	3	4	12	Соблюдать рекомендации нормативной документации	Мастер			
Нанесение толстого слоя краски из-за плохой укрывистости	Не отслежива-ется технология выполнения малярных работ	3	4	12	Вместо од-ного толстого слоя следует наносить два или даже три тонких, давая каждому из них полно-стью высох-нуть, прежде чем наносить следующий слой	Мастер			

Анализ данных, приведенных в табл.4, свидетельствует, что применение подложек с поверхностной пористостью более 5 % способствует возникновению риска в категории «очень высокий уровень риска», что требует незамедлительной разработки и принятия мер для снижения риска. Окрашивание при температуре воздуха ниже рекомендуемой, плохая подготовка поверхности перед окраской (очистка поверхности от пыли и грязи и т.д.), отсутствие грунтовочного слоя и нанесение толстого слоя краски из-за плохой укрывистости приводят к возникновению рисков категории «высокий уровень риска» и необходимости принять меры для снижения в течение 1 месяца.

В работе [16] приведен расчет риска как ожидаемого ущерба разрушения лако-красочных покрытий. Показано, что ожидаемый ущерб составляет 0,068–11,18 руб. на 1 м² в зависимости от вида покрытия. В процессе эксплуатации (менее 3 лет) при гаран-тийном сроке риск как ожидаемый ущерб может возрасти и составить 20–23,36 руб. на 1 м².

Применение карты оценки рисков в области качества позволит предприятию найти резервы для повышения эффективности производства. Реальным способом снижения финансовых потерь является применение статистических методов управления качеством продукции.

Внедрение данной «Карты оценки рисков в области качества» позволит предприя-тию вовремя предопределять риск и снизить потери от брака. Показатель эффек-тивности применения карты оценки рисков в области качества предлагается рассчитывать по формуле

$$\mathcal{E}_d = 3_1 - 3_2, \quad (1)$$

где Δ_d – эффект от снижения затрат на устранение дефектов изготавливаемой промежуточной продукции за счёт своевременного обнаружения отклонений в выполнении работ от проектных значений; Z_1 и Z_2 – затраты на исправление дефектов до и после внедрения карты.

Условием экономической эффективности рационально функционирующей карты оценки рисков в области качества является

$$\Delta_d > 0. \quad (2)$$

Был проведен экономический расчет затрат на исправление дефектов до и после внедрения карты. Установлено, что затраты на исправление дефектов после внедрения карты снижаются, а эффект от снижения затрат на устранение дефектов составляет $\Delta_d = 114,82$ руб/м², что больше нуля ($\Delta_d > 0$), следовательно, применение «Карты оценки рисков в области качества» эффективно.

Внедрение механизма управления рисками системы менеджмента качества в практику работы предприятия позволит обеспечить стабильность развития, повысить эффективность деятельности путем снижения негативного действия факторов риска, а значит, качество производимой продукции будет улучшаться, увеличиваться конкурентоспособность предприятия, что также будет способствовать росту прибыли.

Список литературы

1. ГОСТ Р 51901.4-2005 (МЭК 62198:2001). Менеджмент риска. Руководство по применению при проектировании. – М.: Стандартинформ, 2005.
2. ГОСТ Р 51901.14-2005 (МЭК 61078:1991). Менеджмент риска. Метод структурной схемы надежности. – М.: Стандартинформ, 2005.
3. ГОСТ Р ИСО 31000-2019. Менеджмент риска. Принципы и руководство. – М.: Стандартинформ, 2018.
4. Логанина, В.И. Применение статистических методов управления качеством строительных материалов: монография / В.И. Логанина, А.А. Федосеев, Л.П. Орентлихер. – М.: Издательство Ассоциация строительных вузов, 2004. – 104 с.
5. Логанина, В.И. Системы качества / В.И. Логанина, А.А. Федосеев. – М., 2008.
6. Uchaeva, T.V. Analysis of the risk at the finishing of the building products and construction of paint compositions / T.V. Uchaeva, V.I. Loganina // Case Studies in Construction Materials. – 2018. – P.213–216.
7. Логанина, В.И. Повышение качества лакокрасочных покрытий строительных изделий / В.И. Логанина, Л.П. Орентлихер. – М.: АСВ, 2007.
8. Loganina, V.I. Method of assessment quality protective and decorative coating concrete cement / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov // Case Studies in Construction Materials. – 2016. – №4. – P. 81–84. – URL: <http://www.journals.elsevier.com/case-studies-in-construction-materials/>. – DOI: 10.1016/j.cscm.2016.01.003
9. Логанина, В.И. Достоверность контроля качества строительных материалов и изделий / В.И. Логанина, А.Н. Круглова // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2014. – № 2. – С. 16–18.
10. Mutlu, N. Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods” / N. Mutlu, S. Altuntas // International journal of industrial ergonomics. – 2019. – Vol. 72. – P. 222–240.
11. Geramian, A. Enhanced FMEA: An integrative approach of fuzzy logic-based FMEA and collective process capability analysis / A. Geramian, A. Shahin, B. Minaei // Journal of the operational research, society. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1606986>
12. Shaker, F. Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach / F. Shaker, A. Shahin, S. Jahanyan // International journal of quality & reliability management. – 2019. – Vol. 36, issue 8. – P. 1454–1474.

13. Ghouschi, S.J. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures” / S.J. Ghouschi, S. Yousefi, M. Khazaeili // *Applied soft computing*. – 2019. – Vol. 81. – UNSP 105505.
14. DIN 25448. Ausfalleffektanalyse (Failure mode and effects analyses (FMEA)).
15. Loganina, V.I. The analysis of kinds and consequences potential refusals of protective-decorative coverings for building products and construction / V.I. Loganina, O.V. Karpova // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8, no. 9. – P. 381.
16. Логанина, В.И., Статистическая оценка риска причинения вреда при несоответствии качества лакокрасочных покрытий / В.И. Логанина, Т.В. Учаева // *Вестник МГСУ*. – 2019. – Т. 14, вып. 11. – С. 1449–1455.

References

1. GOST R 51901.4-2005 (IEC 62198: 2001). Risk management. Design Application Guide. – M.: Standartinform, 2005.
2. GOST R 51901.14-2005 (IEC 61078: 1991). Risk management. Reliability Block Diagram Method). – M.: Standartinform, 2005.
3. GOST R ISO 31000-2019. Risk management. Principles and Guidelines. – M.: Standartinform, 2018.
4. Loganina, V.I. Application of statistical methods for managing the quality of building materials: monograph / V.I. Loganina, A.A. Fedoseev, L.P. Orentlikher. – M.: Publishing house Association of building universities, 2004. – 104 p.
5. Loganina, V.I. Quality systems / V.I. Loganina, A.A. Fedoseev. – M., 2008.
6. Uchaeva, T.V. Analysis of the risk at the finishing of the building products and construction of paint compositions / T.V. Uchaeva, V.I. Loganina // *Case Studies in Construction Materials*. – 2018. – P.213–216.
7. Loganina, V.I. Increasing the quality of paint-and-paint coatings of building products and structures / V.I. Loganina, L.P. Orentlikher. – M.: ASV, 2007.
8. Loganina, V.I. Method of assessment quality protective and decorative coating concrete cement / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov // *Case Studies in Construction Materials*. – 2016. – No. 4. – P. 81–84. – URL: <http://www.journals.elsevier.com/case-studies-in-construction-materials/>. – DOI: 10.1016/j.cscm.2016.01.003
9. Loganina, V.I. Reliability of quality control of building materials and products / V.I. Loganina, A.N. Kruglova // *Bulletin of the Belgorod State Technological University*. V.G. Shukhov. – 2014. – No. 2. – P. 16–18.
10. Mutlu, N. Risk analysis for occupational safety and health in the textile industry: Integration of FMEA, FTA, and BIFPET methods” / N. Mutlu, S. Altuntas // *International journal of industrial ergonomics*. – 2019. – Vol. 72. – P. 222–240.
11. Geramian, A. Enhanced FMEA: An integrative approach of fuzzy logic-based FMEA and collective process capability analysis / A. Geramian, A. Shahin, B. Minaei // *Journal of the operational research, society*. – 2019. – URL: <https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1606986>
12. Shaker, F. Developing a two-phase QFD for improving FMEA: an integrative approach / F. Shaker, A. Shahin, S. Jahanyan // *International journal of quality & reliability management*. – 2019. – Vol. 36, issue 8. – P. 1454–1474,
13. Ghouschi, S.J. An extended FMEA approach based on the Z-MOORA and fuzzy BWM for prioritization of failures” / S.J. Ghouschi, S. Yousefi, M. Khazaeili // *Applied soft computing*. – 2019. – Vol. 81. – UNSP 105505.
14. DIN 25448. Ausfalleffektanalyse (Failure mode and effects analyses (FMEA)).
15. Loganina, V.I. The analysis of kinds and consequences potential refusals of protective-decorative coverings for building products and construction / V.I. Loganina, O.V. Karpova // *Contemporary Engineering Sciences*. – 2015. – Vol. 8, no. 9. – P. 381.
16. Loganina, V.I. Statistical assessment of the risk of harm when the quality of paint and varnish coatings does not match / V.I. Loganina, T.V. Uchaeva // *MGSU Bulletin*. – 2019. – Vol. 14, issue 11. – P. 1449–1455.

УДК 697.147

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

Фролов Михаил Владимирович,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

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

Frolov Mikhail Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Heat, Gas Supply and
Ventilation»
E-mail: mihail-frolovv@yandex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК НАРУЖНЫХ ОТДЕЛОЧНЫХ СЛОЕВ НА ВЛАЖНОСТНЫЙ РЕЖИМ В СТЕНАХ ЗДАНИЙ

В.И. Логанина, М.В. Фролов

Исследовано влияние теплопроводности и паропроницаемости наружных отделочных слоев на влажностный режим в наружных стенах различной конструкции. Определено положение плоскости, в которой начнется выпадение конденсата для всех рассматриваемых конструкций. Получена математическая зависимость, связывающая теплофизические характеристики наружных отделочных слоев с температурой начала конденсации в наружных стенах.

Ключевые слова: фасадная краска, отделочный состав, температура начала конденсации, конденсация влаги, кирпич, газобетон, керамзитобетон

RESEARCH OF INFLUENCE OF EXTERNAL FINISHING LAYERS CHARACTERISTICS ON HUMIDITY IN WALLS OF BUILDINGS

V.I. Loganina, M.V. Frolov

The influence of thermal conductivity and vapor permeability of outer finishing layers on the humidity regime in outer walls of various structures has been investigated. The position of the plane in which condensate begins to drop out for the structures under consideration has been determined. A mathematical relationship that connects the thermophysical characteristics of the outer finishing layers with the temperature of the onset of condensation in outer walls has been obtained.

Keywords: facade paint, finishing composition, beginning of condensation temperature, moisture condensation, brick, aerated concrete, expanded clay concrete

Для отделки фасадов зданий применяют цветные штукатурные составы, фасадные краски и т.д. [1–4]. Вид отделочного штукатурного состава и фасадных красок, несомненно, оказывает влияние на влажностный режим конструкции [5–7]. Однако при оценке тепловлажностного режима конструкций отсутствуют расчетные зависимости, которые позволили бы без сложных графических построений связать характеристики наружных отделочных слоев и влажностный режим ограждений.

Влажностный режим принято оценивать с помощью графоаналитического метода Фокина – Власова [8, 9]. Данный метод позволяет сделать вывод о наличии или отсутствии зоны выпадения конденсата в ограждающей конструкции. В случае наличия

зоны выпадения конденсата с помощью данного метода можно определить количество конденсирующейся влаги. Но следует отметить, что в зависимости от расчетной температуры наружного воздуха результаты проведенных с помощью графоаналитического метода Фокина – Власова исследований могут сильно отличаться. При использовании данного метода достаточно неудобно сравнивать между собой различные ограждающие конструкции.

Для исследования влияния характеристик наружных отделочных слоев на влажностный режим в наружных стенах определяли температуру начала конденсации $t_{н.к.}$ [10–12]. Представлены результаты оценки влажностного режима в стенах из газобетона, кирпича и керамзитобетона. Все стены соответствуют требованиям «СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003» и их можно рекомендовать использовать в условиях города Пензы.

Расчетные схемы исследуемых ограждающих конструкций представлены на рис. 1. Толщины слоев, значения средней плотности, коэффициентов теплопроводности и паропроницаемости материалов приведены в табл. 1. Свойства используемых фасадных красок представлены в табл. 2.

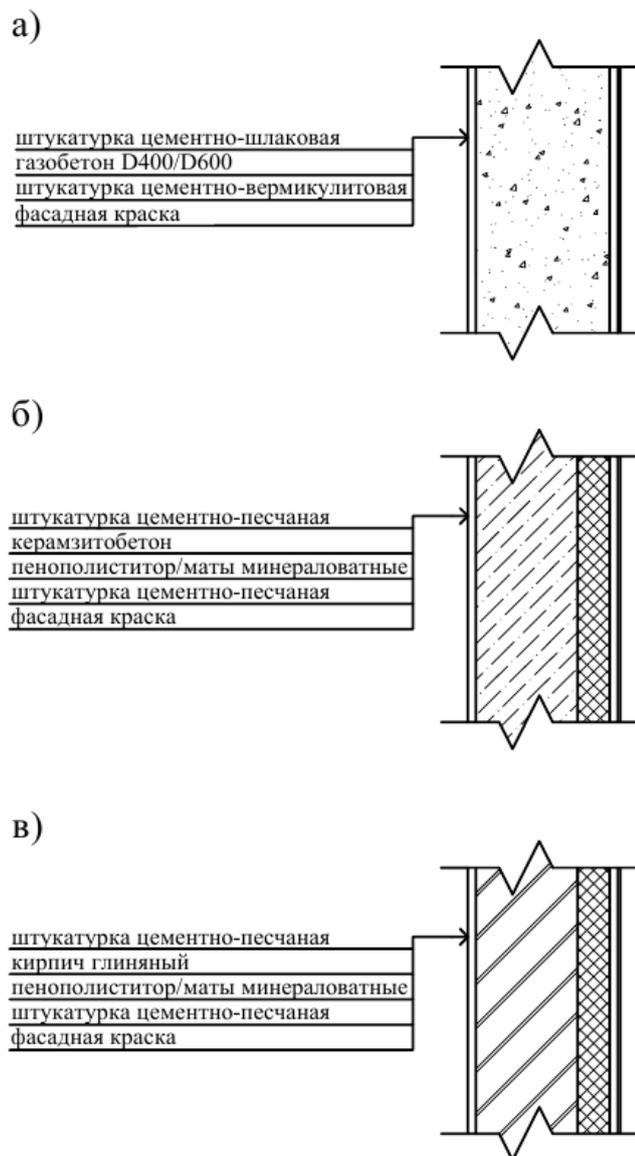


Рис. 1. Расчетная схема ограждающих конструкций:

а – ограждающая конструкция из газобетона; б – ограждающая конструкция из керамзитобетона с утеплителем; в – ограждающая конструкция из кирпича с утеплителем

Характеристики используемых в стенах материалов

Материал	Толщина слоя δ , м	Средняя плотность материала, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности λ_A , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
штукатурка цементно-шлаковая	0,01	1200	0,470	0,140
штукатурка цементно-вермикулитовая	0,01	600	0,13	0,25
штукатурка цементно-песчаная	0,01	1800	0,76	0,09
газобетон D400	0,45	400	0,14	0,230
газобетон D600	0,65	600	0,22	0,170
кирпич глиняный	0,51	1800	0,70	0,11
керамзитобетон	0,30	1200	0,44	0,11
пенополистирол	0,10	40	0,04	0,05
маты минераловатные	0,10	125	0,041	0,40

Т а б л и ц а 2

Свойства фасадных красок

Наименование краски	Характеристика краски	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
ВАК «Цоколь»	краска для окраски цоколей	0,00026
ВАК «Акрил 1»	краска на основе акрилат-стирольных латексов	0,00038
ВАК «Акрил 2»		0,00047
ВАК «Силикон 1»	краска, содержащая в составе силиконовую эмульсию	0,00070
ВАК «Силикон 2»		0,00148
ВАК «Силикат»	краска латексно-силикатная	0,00238

Оценивали влияние слоев фасадной краски толщиной 0,2 мм и 0,6 мм на влажностный режим в стенах зданий. Для удобства предполагали, что увеличение толщины красочного слоя для всех рассматриваемых красок с 0,2 до 0,6 мм уменьшит паропроницаемость слоя краски в 3 раза.

Зависимости температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ от вида фасадной краски для всех рассматриваемых ограждающих конструкций при толщине краски 0,2 мм представлены на рис. 2.

Установлено, что паропроницаемость фасадной краски существенно влияет на температуру начала конденсации $t_{н.к.}$ для всех рассматриваемых ограждений. При использовании фасадной краски «Цоколь» с низкой паропроницаемостью температура начала конденсации $t_{н.к.}$ варьируется в пределах от $-6,2$ °С до $4,6$ °С, при использовании фасадной краски «Силикат» с высокой паропроницаемостью – в пределах от $-19,8$ °С до $-9,3$ °С.

Зависимости температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ от вида фасадной краски для всех рассматриваемых ограждающих конструкций при толщине краски 0,6 мм представлены на рис. 3.

Выявлено, что при увеличении толщины красочного слоя до 0,6 мм температура начала конденсации $t_{н.к.}$ существенно увеличивается для всех рассматриваемых ограждений. При использовании фасадной краски «Цоколь» с низкой паропроницаемостью температура начала конденсации $t_{н.к.}$ варьируется в пределах от $4,1$ °С до $8,2$ °С, при

использовании фасадной краски «Силикат» с высокой паропроницаемостью – в пределах от $-12,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-3,4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

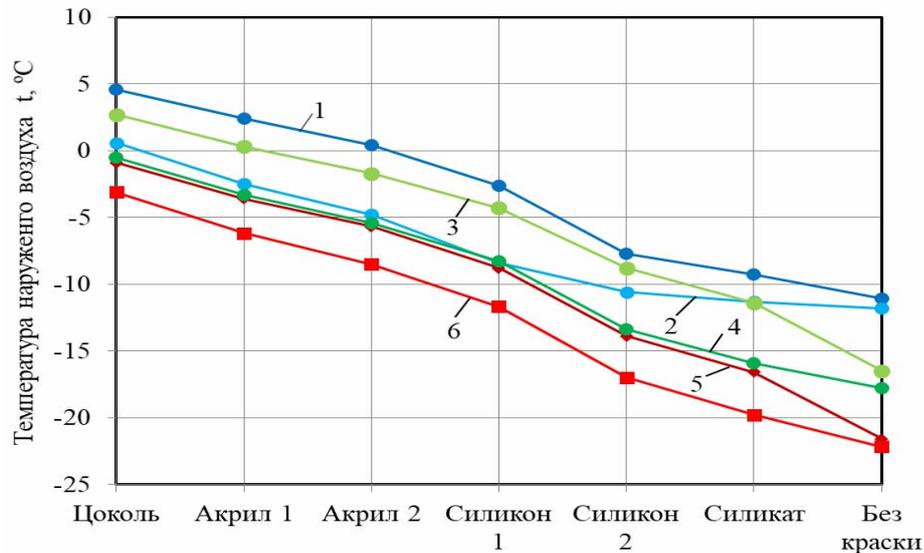


Рис. 2. Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающих конструкциях от вида фасадной краски при толщине слоя краски 0,2 мм:

1 – ограждающая конструкция из газобетона D400; 2 – ограждающая конструкция из газобетона D600; 3 – ограждающая конструкция из керамзитобетона с минеральной ватой; 4 – ограждающая конструкция из керамзитобетона с пенополистиролом; 5 – ограждающая конструкция из кирпича с минеральной ватой; 6 – ограждающая конструкция из кирпича с пенополистиролом

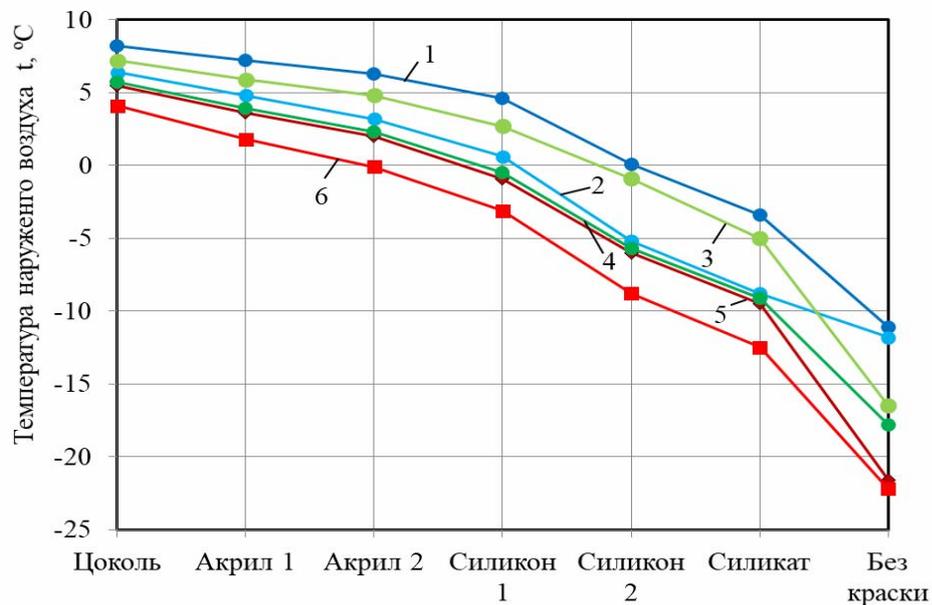


Рис. 3. Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в ограждающих конструкциях от вида фасадной краски при толщине слоя краски 0,6 мм:

1 – ограждающая конструкция из газобетона D400; 2 – ограждающая конструкция из газобетона D600; 3 – ограждающая конструкция из керамзитобетона с минеральной ватой; 4 – ограждающая конструкция из керамзитобетона с пенополистиролом; 5 – ограждающая конструкция из кирпича с минеральной ватой; 6 – ограждающая конструкция из кирпича с пенополистиролом

Для получения математической зависимости, которая позволила бы связать характеристики наружных отделочных слоев с температурой начала конденсации $t_{н.к.}$ в толще ограждения, рассмотрим теплофизические характеристики каждого слоя ограждения отдельно.

Каждый слой стены характеризуется сопротивлением теплопередаче R_{Ti} и сопротивлением паропроницанию R_{Pi} , определяемым по формулам

$$R_{Ti} = \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \tag{1}$$

где λ_i – коэффициент теплопроводности слоя, Вт/(м·К); δ_i – толщина слоя, м;

$$R_{Pi} = \frac{\delta_i}{\mu_i}, \tag{2}$$

где μ_i – коэффициент паропроницаемости слоя, мг/(м·ч·Па).

В работе [13] предложено использовать для определения $t_{н.к.}$ обобщенный конструктивный параметр $k_{об}$, определяемый по формуле

$$k_{об} = \frac{R_{Pi} / R_{Pi0}}{R_{Ti} / R_{T0}}, \tag{3}$$

где R_{Ti} – сопротивление теплопередаче слоев, расположенных от внутренней поверхности до плоскости, в которой начинается конденсация, (м²·°С)/Вт; R_{T0} – сопротивление теплопередаче всего ограждения, (м²·°С)/Вт; R_{Pi} – сопротивление паропроницаемости слоев, расположенных от внутренней поверхности до плоскости, в которой начинается конденсация, (м²·ч·Па)/мг; R_{Pi0} – сопротивление паропроницаемости всего ограждения, (м²·ч·Па)/мг.

Для выполнения расчетов по формуле (3) определим плоскость, в которой будет в первую очередь скапливаться конденсат при понижении температуры наружного воздуха ниже температуры начала $t_{н.к.}$. Установлено, что для ограждающих конструкций из керамзитобетона и кирпича независимо от вида используемого утеплителя и вида фасадной краски конденсация влаги начинается на границе утеплителя и наружной штукатурки. Это объясняется тем, что коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости краски и наружной штукатурки существенно отличаются от характеристик слоя утеплителя.

Положение плоскости начала конденсации в ограждающих конструкциях из газобетона зависит от марки газобетона, вида и толщины слоя краски. Результаты исследований для газобетонов D400 и D600 представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Положение плоскости выпадения конденсата (газобетон D400)

Вид краски	Газобетон D400		Газобетон D600	
	0,2 мм	0,6 мм	0,2 мм	0,6 мм
ВАК «Цоколь»	Граница «наружная отделка – фасадная краска»			
ВАК «Акрил 1»	Граница «наружная отделка – фасадная краска»			
ВАК «Акрил 2»	Граница «наружная отделка – фасадная краска»			
ВАК «Силикон 1»	Граница «наружная отделка – фасадная краска»	Граница «наружная отделка – фасадная краска»	Газобетон (на расстоянии 7 см от наружной отделки)	Граница «наружная отделка – фасадная краска»
ВАК «Силикон 2»	Газобетон (на расстоянии 3 см от наружной отделки)	Граница «наружная отделка – фасадная краска»	Газобетон (на расстоянии 11 см от наружной отделки)	Граница «наружная отделка – фасадная краска»
ВАК «Силикат»	Газобетон (на расстоянии 5 см от наружной отделки)	Граница «наружная отделка – фасадная краска»	Газобетон (на расстоянии 12 см от наружной отделки)	Газобетон (на расстоянии 7 см от наружной отделки)

При использовании красок «Цоколь», «Акрил 1» и «Акрил 2», отличающихся сравнительно низкой паропроницаемостью, независимо от толщины слоя краски и марки газобетона конденсация влаги начинается на границе «наружная отделка – фасадная краска». При использовании красок «Силикон 1», «Силикон 2» и «Силикат» с более высокой паропроницаемостью в зависимости от толщины слоя краски и марки газобетона плоскость конденсации влаги может смещаться в толщу газобетона. С увеличением паропроницаемости покрытий на основе красок положение плоскости конденсации отдалится от границы «наружная отделка – фасадная краска».

Необходимость предварительного определения положения плоскости начала конденсации усложняет применение формулы (3) для сравнения различных ограждающих конструкций. Предлагаем использовать следующую формулу для определения обобщенного конструктивного параметра $k_{об}$ для ограждений, отделанных с наружной стороны штукатурным составом и фасадной краской:

$$k_{об} = \frac{(R_{П0} - R_{Пно}) / R_{П0}}{(R_{Т0} - R_{Тно}) / R_{Т0}}, \quad (4)$$

где $R_{Тно}$ – сопротивление теплопередаче наружных отделочных слоев, ($\text{м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}$); $R_{Пно}$ – сопротивление паропроницаемости наружных отделочных слоев, ($\text{м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$).

На рис. 4 представлена зависимость величины $t_{н.к.}$ от обобщенного конструктивного параметра $k_{об}$, рассчитанного по формуле (4), для 72 рассмотренных ограждающих конструкций.

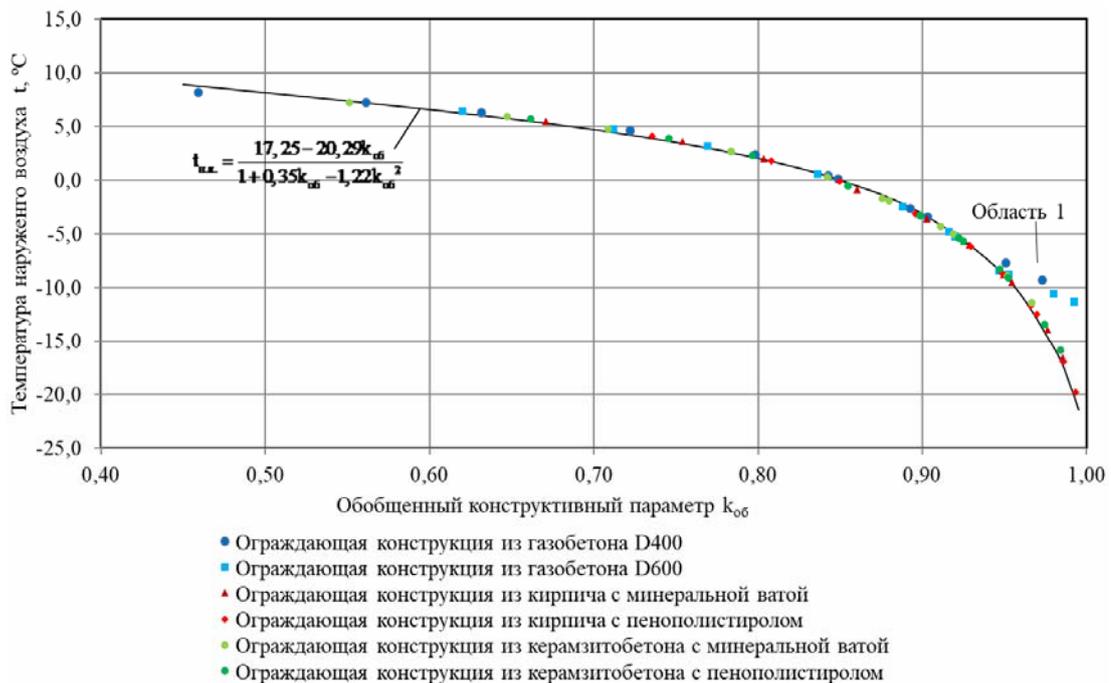


Рис. 4. Зависимость температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ от обобщенного конструктивного параметра $k_{об}$

В результате аппроксимации полученных значений получена следующая зависимость:

$$t_{н.к.} = \frac{17,25 - 20,29k_{об}}{1 + 0,35k_{об} - 1,22k_{об}^2}. \quad (5)$$

Для 68 из 72 исследуемых ограждающих конструкций отклонение рассчитанных по формуле (5) значений от полученных в результате графических построений не превышает 1 °C. Для 4 ограждений из газобетона марок D400 и D600 с использо-

ванием красок «Силикат» и «Силикон 1» (толщина 0,2 мм) величина отклонения составляет более 1 °С (см. рис. 4, зона 1). Это связано с тем, что для ограждений из газобетона марок D400 и D600 без краски температура начала конденсации $t_{н.к.}$ равна соответственно 11,1 и 11,8 °С. Вследствие этого при значениях $k_{об}$ более 0,93 для данных ограждений наблюдается значительное отклонение расчетных значений $t_{н.к.}$ и значений $t_{н.к.}$, полученных с помощью графических построений.

Зависимости (4) и (5) можно рекомендовать использовать при расчете различных ограждающих конструкций с наружными отделочными слоями. Для определения обобщенного конструктивного параметра $k_{об}$ достаточно знать ширину всех слоев стены, значения теплопроводностей и паропроницаемостей используемых материалов.

Выводы

1. Установлено, что в стенах из керамзитобетона и кирпича независимо от характеристик используемого утеплителя и характеристик фасадной краски конденсация влаги начинается на границе утеплителя и наружной штукатурки.

2. Получена зависимость, при использовании которой возможно с высокой точностью определять температуры начала конденсации $t_{н.к.}$ в стенах различных конструкций в зависимости от теплопроводности и паропроницаемости наружных отделочных слоев.

Список литературы

1. Лесовик, В.С. Эффективные сухие смеси для ремонтных и восстановительных работ / В.С. Лесовик, Л.Х. Загороднюк, Д.А. Беликов, А.Ю. Щекина, А.А. Куприна // Строительные материалы. – 2014. – №7 – С. 82–85.

2. Соков, В.Н. Фасадная негорючая краска на основе калиевого жидкого стекла: особенности состава / В.Н. Соков, С.И. Баженова, М.А. Петров, А.Ю. Пепеляева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2019. – №1. – С.33–38.

3. Логанина, В.И. Оценка трещиностойкости покрытий на основе теплоизоляционного состава для отделки газобетона / В.И. Логанина, М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №1. – С.30–35.

4. Евдокимов, А.В. Выбор фасадных покрытий с учетом паропроницаемости и водопоглощения / А.В. Евдокимов, Б.Б. Сергуненков, Д.В. Котельников // Строительные материалы. – 2002. – №11. – С.30–31.

5. Корниенко, С.В. Оценка влажностного режима многослойной стеновой конструкции в годовом цикле / С.В. Корниенко, Н.И. Ватин, М.Р. Петриченко, А.С. Горшков // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2015. – №6. – С.19–33.

6. Гагарин, В.Г. Методика определения суммарного сопротивления паропроницанию наружных отделочных слоев фасадных теплоизоляционных композиционных систем с наружными штукатурными слоями / В.Г. Гагарин, П.П. Пастушков // Вестник МГСУ. – 2012. – №11. – С.140–143.

7. Логанина, В.И. Оценка влияния отделочных покрытий на изменение влажностного режима газобетонной ограждающей конструкции / В.И. Логанина, М.В. Фролов, Ю.П. Скачков // Вестник МГСУ. – 2018. – Т. 13, №11. – С.1349–1356.

8. Ватин, В.И. Влияние физико-технических и геометрических характеристик штукатурных покрытий на влажностный режим однородных стен из газобетонных блоков / В.И. Ватин, А.С. Горшков, А.В. Глумов // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №1. – С.28–33.

9. Логанина, В.И. Влияние теплоизоляционной штукатурки на основе известково-перлитового состава на влажностный режим наружных стен зданий / В.И. Логанина, М.В. Фролов, А.Д. Рыжов // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №1. – С.44–47.

10. Фролов, М.В. Оценка влажностного режима в стенах из газобетона в зависимости от характеристик наружного отделочного покрытия / М.В. Фролов // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – №1. – С.90–97.

11. Куприянов, В.Н. Влияние конструкции ограждения на конденсацию парообразной влаги / В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин, М.Р. Шамсутдинов // Жилищное строительство. – 2012. – №6. – С.29–31.
12. Вытчиков, Ю.С. Применение метода безразмерных характеристик к расчету влажностного режима многослойных строительных ограждающих конструкций / Ю.С. Вытчиков, М.Е. Сапарёв // Градостроительство и архитектура – 2020. – Т.10, №2(39). – С.10–15.
13. Куприянов, В.Н. Основные принципы конструирования наружных стен с ограничением конденсации в них парообразной влаги / В.Н. Куприянов // Строительство и реконструкция. – 2015. – №2(58). – С.120–126.

References

1. Lesovik, V.S. Effective dry mixes for repair and restoration works / V.S. Lesovik, L.H. Zagorodnjuk, D.A. Belikov, A.Ju. Shhekina // Construction Materials. – 2014. – № 7. – P. 82–85.
2. Sokov, V.N. Facade non-combustible paint based on potassium liquid glass: compositional features / V.N. Sokov, S.I. Bazhenova, M.A. Petrov, A.Yu. Pepelyaeva // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. – 2019. – №1. – P.33–38.
3. Loganina, V.I. Evaluation of crack resistance of coatings based on the thermal insulation composition for finishing aerated concrete / V.I. Loganina, M.V. Frolov // Regional Architecture and Engineering. – 2017. – №1. – P. 30–35.
4. Evdokimov, A.V. The choice of facade coatings taking into account vapor permeability and water absorption / A.V. Evdokimov, B.B. Sergunenkov, D.V. Kotelnikov // Construction materials. – 2002. – №11. – P.30–31.
5. Kornienko, S.V. Evaluation humidity conditions multilayer wall structure in the annual cycle / S.V. Kornienko, N.I. Vatin, M.R. Petrychenko, A.S. Gorshkov // Construction of unique buildings and structures. – 2015. – №6. – P. 19–33.
6. Gagarin, V.G. Methods for determining the total resistance to vapor permeation of external finishing layers of facade heat-insulating composite systems with external plaster layers / V.G. Gagarin, P.P. Pastushkov // Vestnik MGSU. – 2012. – № 11. – P.140–143.
7. Loganina, V.I. Assessment of the effect of finishing coatings on the change in the moisture regime of aerated concrete enclosing structures / V.I. Loganina, M.V. Frolov, Yu.P. Skachkov // Vestnik MGSU. – 2018. – Vol. 13, №11. – P.1349–1356.
8. Vatin, V.I. Effect of physical, technical and geometrical characteristics of plasters on the walls of homogeneous humidity conditions of concrete blocks / V.I. Vatin, A.S. Gorshkov, A.V. Glumov // Civil Engineering Journal. – 2011. – № 1. – P.28–33.
9. Loganina, V.I. Influence of heat-insulating plaster based on lime-perlite composition on the moisture regime of the outer walls of buildings / V.I. Loganina, M.V. Frolov, A.D. Ryzhov // Regional Architecture and Engineering. – 2016. – №1. – P. 44–47.
10. Frolov M.V. Assessment of the humidity regime in the walls made of aerated concrete, depending on the characteristics of the external finishing coating / M.V. Frolov // Regional Architecture and Engineering. – 2020. – №1. – P.90–97.
11. Kupriyanov, V.N. The influence of the design of the fence on the condensation of vaporous moisture / V.N. Kupriyanov, I.Sh. Safin, M.R. Shamsutdinov // Housing. – 2012. – №6. – P. 29–31.
12. Vytchikov, Yu.S. Application of the method of dimensionless characteristics to the calculation of the moisture regime of multilayer building enclosing structures / Yu.S. Vytchikov, M.E. Saparev // Urban planning and architecture – 2020. – Vol. 10, №2 (39). – P.10–15.
13. Kupriyanov, V.N. The basic principles of the design of external walls with limited condensation of vaporous moisture in them / V.N. Kupriyanov // Construction and reconstruction. – 2015. – №2(58). – P. 120–126.

УДК 658.5: 658.562

*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**Жегера Кристина Владимировна**,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: jegeera@yandex.ru**Самигулина Елена Александровна**,
магистрант
E-mail: samigulinaelesha@yandex.ru*Penza State University of Architecture
and Construction*Russia, 440028, Penza, 28, German Titov St.,
tel.: (8412) 48-27-37; fax: (8412) 48-74-77**Zhegera Kristina Vladimirovna**,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the Department «Quality Management and
Construction Technologies»
E-mail: jegeera@yandex.ru**Samigulina Elena Aleksandrovna**,
Undergraduate
E-mail: samigulinaelesha@yandex.ru

ПРОЦЕСС СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА «КОРРЕКТИРУЮЩИЕ И ПРЕДУПРЕЖДАЮЩИЕ ДЕЙСТВИЯ» НА ПРИМЕРЕ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

К.В. Жегера, Е.А. Самигулина

Корректирующие и предупреждающие действия применяются ко всем процессам предприятия: основным, управляющим и обеспечивающим. Показано, что внедрение процесса «Корректирующие и предупреждающие действия» позволяет непрерывно улучшать качество продукции предприятия. Отмечено, что для проектирования процесса СМК на предприятии по производству строительной продукции необходимо разработать ряд документированных процедур: программа разработки и внедрения процесса, паспорт процесса. Для лучшего понимания процесса применена SADT-методология.

Ключевые слова: качество, управление, система менеджмента качества, корректирующие действия, предупреждающие действия, SADT-методология в строительстве

PROCESS OF QUALITY MANAGEMENT SYSTEM «CORRECTIVE AND PREVENTIVE ACTIONS» ON THE EXAMPLE OF A CONSTRUCTION COMPANY

K.V. Zhegera, E.A. Samigulina

Implementation of the “Corrective and Preventive Actions” process allows continuous improvement of quality at an enterprise. Corrective and preventive actions are applied to all processes of an enterprise: main, managing and supporting. A number of documented procedures must be developed to design a process in a construction product manufacturing facility: a program for the development and implementation of a process, a process passport. For a better understanding of the process, the SADT methodology was applied.

Keywords: quality, management, quality management system, corrective actions, preventive actions, SADT methodology in the construction

В условиях жесткой конкуренции на строительном рынке изготовитель стремится добиться стабильного качества своей продукции, используя все доступные инструменты, выработанные мировой практикой. Одним из таких инструментов является внедрение системы менеджмента качества (СМК), которая охватывает всю деятельность предприятия и получила широкое распространение и признание во всем мире [1–3].

Система менеджмента качества является частью общей функции управления предприятием, которая тесно связана с формированием и реализацией целей политики в области качества. В основе SMK лежит процессный подход, то есть вся деятельность на предприятии рассматривается как взаимосвязь процессов. Одним из процессов, обеспечивающих выпуск качественной продукции, является процесс «Корректирующие и предупреждающие действия» (КПД).

Процесс КПД помогает предупредить или устранить причины несоответствий, а также является основой управления качеством продукции на предприятии. Это важно, когда предприятие стремится к тому, чтобы выявленные несоответствия не проявлялись в будущем. Процесс можно назвать заключительным этапом принятой на предприятии общесистемной методологии непрерывного улучшения качества труда, процессов и продукции.

В стандарте ГОСТ Р ИСО 9000-2015 «Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь» дается четкое определение термина «корректирующие и предупреждающие действия».

Процесс «Корректирующие и предупреждающие действия» является процессом менеджмента, который участвует в цепочке, представленной на рис. 1.

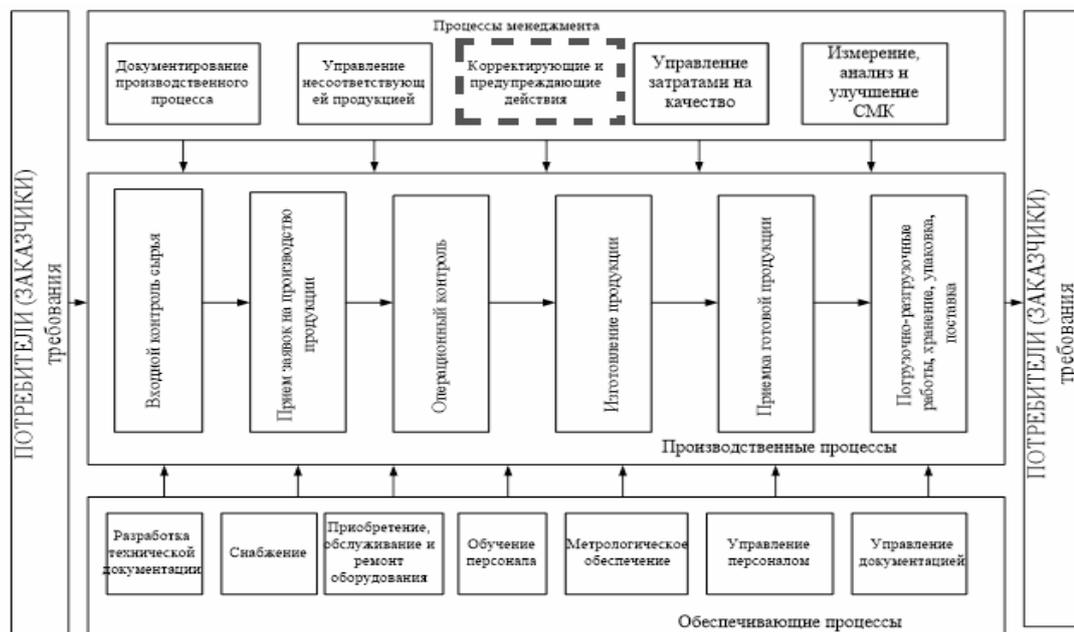


Рис. 1. Взаимодействие процессов SMK

Разработка процесса SMK – это одна из наиболее длительных и трудоемких задач, которые выполняются в ходе разработки, внедрения, поддержки и развития системы. Для более быстрого и эффективного решения данной задачи привлекаются сотрудники, должности которых находятся на самых разных уровнях управления предприятием – от простых сотрудников до менеджеров высшего звена и руководителей.

Внедрение процесса «Корректирующие и предупреждающие действия» является комплексом работ, затрагивающим различные виды деятельности предприятия и ее подсистемы: стратегическое управление, производство, логистика, управление персоналом, внутренние коммуникации и документооборот. Для определения видов работ на каждом из этапов внедрения процесса, назначения исполнителей и сроков исполнения работ, выявления необходимых для этого ресурсов необходимо разработать программу. В [4] приведена Программа разработки и внедрения процесса системы менеджмента качества. На основе Программы составлен порядок разработки и внедрения процесса SMK на примере предприятия по производству железобетона ОАО «ЖБК-1», г.Пенза, с указанием ответственных исполнителей, необходимых ресурсов и сроков исполнения (табл. 1).

Программа разработки и внедрения системы менеджмента качества на ОАО «ЖБК-1»,
г. Пенза

Наименование этапа	Виды работ на данном этапе	Исполнители	Срок исполнения	Необходимые ресурсы
1	2	3	4	5
Разработка плана внедрения нового процесса	– определение цели внедрения процесса; – разработка плана проведения работ по созданию СМК; – определение видов, сроков и стоимости работ, ответственных исполнителей	Ответственный за СМК на предприятии	5 дней	Материальные, информационные, человеческие
Разработка документации СМК	– определение, корректирование и утверждение структуры и состава документации	Ответственный за СМК на предприятии	10 дней	Материальные, информационные, человеческие
	– составление, рассмотрение и утверждение плана разработки документации СМК		14 дней	Материальные, информационные, человеческие
Подготовка персонала	– обучение персонала всем процедурам, осуществляемым в рамках внедряемого процесса	Ответственный за СМК на предприятии, отдел кадров предприятия	14 дней	Материальные, информационные, человеческие
Разработка нормативной документации процесса	– соответствующий раздел руководства по качеству; – паспорт процесса	Ответственный за СМК на предприятии	3 недели	Материальные, информационные, человеческие
Получение необходимых ресурсов	– оперативное выделение временных, финансовых, человеческих и материальных ресурсов	Все структурные единицы предприятия	7 дней	Материальные, информационные, человеческие
Изменение организационной структуры	– создание должностей, предназначенных для исполнения и контроля производительности, качества и правильности выполнения данного процесса	Директор предприятия, отдел кадров, ответственный за СМК на предприятии	5 дней	Материальные, информационные, человеческие
Внедрение процесса	– ознакомление всего персонала предприятия с документацией, которая должна быть размножена и передана на рабочие места всех исполнителей; – подготовка и издание приказа руководителя организации о внедрении процесса	Все структурные подразделения предприятия	14 дней	Материальные, человеческие
Контроль успешности внедрения	– контроль исполнения плана работ; – контроль исполнения рекомендаций по внедрению; – контроль качества внедрения процесса путем проведения контрольных измерений показателей эффективности процесса; – корректировка модели процесса и соответствующей документации	Директор предприятия, ответственный за контроль качества, главный бухгалтер, ответственный за СМК на предприятии	6 месяцев	Материальные, информационные, человеческие

СМК основывается на процессном подходе, позволяющем оперативно решать возникающие в процессе функционирования предприятия вопросы и воздействовать на результат. Работа над процессами позволяет концентрировать внимание не на работе каждого отдельного подразделения, а на результатах работы организации в целом.

Одним из инструментов моделирования процессов является методология SADT (Structured Analysis and Design Technique – методология структурного анализа и проектирования) [5–7]. В работе Д.А. Марка, К. МакГоуэна «Методология структурного анализа и проектирования SADT» приведена подробная информация о проектировании процессов с применением SADT-моделирования.

Наглядное представление процесса «Корректирующие и предупреждающие действия» приведено на рис. 2–3.

Для процесса КПД, представленного на рис. 2–3, составлен паспорт процесса [8].



Рис. 2. Обобщающая диаграмма процесса «Корректирующие и предупреждающие действия»

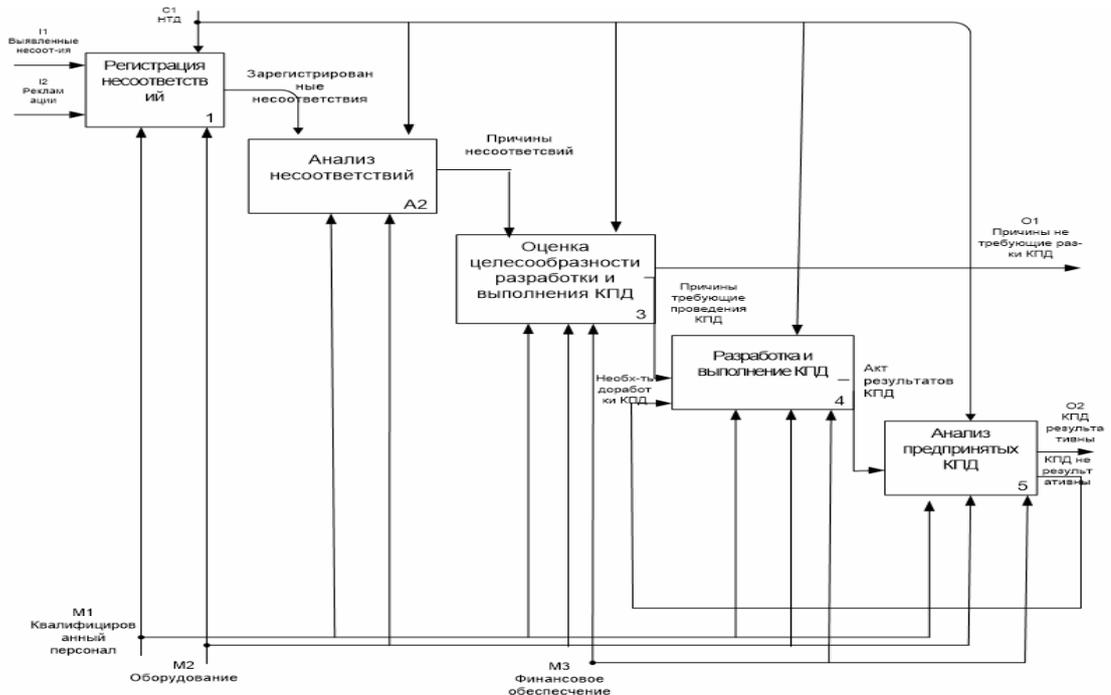


Рис. 3. Диаграмма верхнего уровня процесса «Корректирующие и предупреждающие действия»

Разработанный паспорт процесса «Корректирующие и предупреждающие действия» представлен на рис. 4.

Паспорт процесса «Корректирующие и предупреждающие действия»	
1 Наименование документа, где содержится процедура, описывающая процесс	
СТО СМК 8.03-2021	
2 Руководитель процесса	
Директор по производству	
3 Владелец процесса	
Специалист по качеству	
4 Время, место осуществления процесса	
Один раз в две недели, предприятие	
5 Участники процесса	
Ответственный за контроль качества, ответственный за СМК на предприятии	
6 Процессы, с которыми осуществляется взаимодействие	
6.1 На входе процесса	6.2 На выходе процесса
Организация разработки и совершенствования СМК, Организация функционирования СМК, Организация функционирования процессов, Управление документами, Внутренний обмен информацией, Анализ СМК со стороны руководства, Организация анализа СМК, Внутренний аудит СМК	Организация разработки и совершенствования СМК, Организация функционирования СМК, Организация функционирования процессов, Управление несоответствиями, Внутренний обмен информацией, Планирование производства, Мониторинг и измерение продукции в процессе производства, Мониторинг и измерение готовой продукции
7 Процедуры, по которым не определены процессы, но с которыми осуществляется	
7.1 На входе	7.2 На выходе
Выявленные несоответствия, рекламации	Причины не требующие разработки КД/ПД, КД/ПД результативны

Рис. 4. Паспорт процесса «Корректирующие и предупреждающие действия»

Результаты, полученные в работе, позволяют эффективно оценить взаимодействие процесса КД с другими процессами предприятия, процедуры, с которыми осуществляется процесс, порядок функционирования процесса и т.п. Таким образом, представленная информация позволила внедрить процесс СМК на ОАО «ЖБК-1» и повысить эффективность его работы.

Список литературы

1. Шубина, Л.Д. Система менеджмента качества / Л.Д. Шубина // Наука и образование сегодня. – 2019. – №1 (36). – С. 38–40.
2. Антохина, Ю.А. Современные инструменты менеджмента и качества / Ю.А. Антохина. – СПб.: ГУАП, 2017. – 238 с.
3. Дшхунян, В.Л. Процессы и менеджмент качества в развитии экономических успехов предприятия / В.Л. Дшхунян, Т.Г. Никольская. – М.: Трек, 2017. – 144 с.
4. Чернов, В.Д. Проектный подход к разработке и внедрению систем менеджмента качества / В.Д. Чернов, М.Р. Ахмедова, М.Н. Поддубная // Экономика и бизнес: теория и практика. – 2020. – №12–3. – С. 198–201.
5. Помитов, С.А. Проектирование организационной структуры управления на основе SADT-моделирования / С.А. Помитов // Вестник ВГТУ. – 2009. – №6. – С. 24–27.
6. Кратчет, Ф. Введение в Rational Unified Process: пер. с англ. / Ф. Кратчет. – 2-е изд. – М.: Вильямс, 2002. – 240 с.

7. Помитов, С.А. Проектирование организационной структуры управления на основе SADT-моделирования / С.А. Помитов // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2009. – №6(5). – С. 24–27.

8. Краснов, А.А. Особенности разработки и внедрения в российских организациях Системы менеджмента качества в соответствии с ГОСТ Р ИСО 9001-2015 / А.А. Краснов // Sciences of Europe. – 2018. – №25–2 (25). – С. 3–7.

References

1. Shubina, L.D. Quality management system / L.D. Shubina // Science and education today – 2019. – №1(36). – P. 38–40.

2. Antokhina, Yu. A. Modern tools of management and quality / Yu.A. Antokhina. – St. Petersburg: GUAP, 2017. – 238 p.

3. Dshkhunyan, V.L. Processes and quality management in the development of economic success of the enterprise / V.L. Dshkhunyan, T.G. Nikolskaya. – M.: Trek, 2017. – 144 p.

4. Chernov, V.D. Project approach to the development and implementation of quality management systems / V.D. Chernov, M.R. Akhmedova, M.N. Poddubnaya // Economics and Business: Theory and practice. – 2020. – №12–3. – P. 198–201.

5. Pomitov, S.A. Designing the organizational structure of management based on SADT-modeling / S.A. Pomitov // Vestnik VSTU. – 2009. – №6. – P. 24–27.

6. Kratchet, F. Introduction to the Rational Unified Process: Trans. from English / F. Kratchet. – 2 publication. – M.: Williams, 2002. – 240 p.

7. National Institute of Standards and Technology. Integration Definition For Function Modeling (IDEF0) // Washington: Draft Federal Information. – 1993 – 116 p.

8. Krasnov, A.A. Features of development and implementation in Russian organizations of the Quality Management System in accordance with GOST R ISO 9001-2015 / A.A. Krasnov // Sciences of Europe. – 2018. – №25–2 (25). – P. 3–7.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ, ЗДАНИЯ И СООРУЖЕНИЯ

BUILDING STRUCTURES, BUILDINGS AND CONSTRUCTIONS

УДК 539.3/.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

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

Снежкина Ольга Викторовна,
кандидат технических наук, доцент,
зав. кафедрой «Начертательная геометрия
и графика»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

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

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

Snezhkina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Descriptive
Geometry and Graphics»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

РАСЧЁТ УПРУГИХ СТЕРЖНЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КАСАТЕЛЬНЫМИ НАГРУЗКАМИ

С.В. Бакушев, О.В. Снежкина

Рассматриваются вопросы расчёта упругих стержней на действие касательных нагрузок. Показано, что при приложении касательных нагрузок к боковой поверхности стойки по направлению её оси стойка будет находиться в условиях внецентренного нагружения. Отмечено, что влияние касательной нагрузки на напряжённо-деформированное состояние массивного стержня, находящегося в условиях продольно-поперечного изгиба, определяется геометрическими размерами его поперечного сечения. Обнаружено, что оценить влияние касательной нагрузки на напряжённо-деформированное состояние гибкого стержня при его продольно-поперечном изгибе можно лишь численно. Полученное дифференциальное уравнение упругой линии сжато-изогнутого стержня постоянного поперечного сечения с поперечными, продольными и касательными нагрузками может найти практическое применение для определения напряжённо-деформированного состояния элементов строительных конструкций, находящихся в условиях продольно-поперечного изгиба.

Ключевые слова: упругий стержень, касательные нагрузки, внецентренное нагружение, продольно-поперечный изгиб, сжато-изогнутый стержень, дифференциальное уравнение равновесия

CALCULATION OF ELASTIC ROD ELEMENTS UNDER TANGENTIAL LOADS

S.V. Bakushev, O.V. Snezhkina

Elastic bars calculation to the tangential loads actions are considered. It is shown that when tangential loads are applied to the lateral surface of the rack in the direction of its axis, the rack is in conditions of eccentric loading. It is noted that the effect of the tangential load on the stress-strain

state of a massive bar under conditions of longitudinal-transverse bending is determined by the geometric dimensions of its cross-section. It has been found out that it is possible to evaluate the effect of the tangential load on the stress-strain state of a flexible bar during its longitudinal-transverse bending only numerically. The received differential equation of the elastic line of a compressed-bent bar of constant cross-section with transverse, longitudinal and tangential loads can be applied in determining of the stress-strain state of structural elements under conditions of longitudinal-transverse bending.

Keywords: elastic rod, tangent loads, off-centered loading, longitudinal-cross bend, compressed-curved rod, balance differential equation

Введение. В своём большинстве элементы строительных конструкций – стержни – рассчитываются из условия прочности и жёсткости на нагрузки, которые действуют либо перпендикулярно к их продольной оси (при изгибе), либо перпендикулярно к их торцевому поперечному сечению (при растяжении – сжатии). Вместе с тем стержни могут испытывать и касательные нагрузки. Например: балка, воспринимающая нагрузки от торможения движущегося по ней механизма; колонна, воспринимающая нагрузки от подвешенного к её боковой поверхности оборудования, и так далее. Вполне понятно, что стержень с касательными нагрузками, приложенными по его боковой стороне, будет находиться в условиях продольно-поперечного изгиба. В работе [1] отмечается, что основы расчёта стержней на продольно-поперечный изгиб были заложены работами А.П. Фан-дер-Флита [2]. В дальнейшем развитие расчёта стержней на продольно-поперечный изгиб получило в работах К.С. Завриева [3, 4]. В настоящее время интерес к работе стержней при продольно-поперечном изгибе также не утихает. Так, в работе [5] методом Бубнова – Галёркина рассматривается продольно-поперечный изгиб многослойного бетонного стержня постоянного поперечного сечения; закон деформирования каждого слоя аппроксимируется полиномом третьего порядка. В статье [6] представлено общее уравнение изогнутой оси сжато-изогнутого гибкого стержня в начальных параметрах. В работе [7] рассматриваются результаты исследования напряжённо-деформированного состояния стержней переменной жёсткости, изменяющейся по степенной зависимости, при продольно-поперечном изгибе. Решение уравнения равновесия получено в аналитическом виде с использованием функций Бесселя и Ломмеля. В статье [8] рассматривается решение задачи о продольно-поперечном изгибе статически неопределимого стержня с распределённой вдоль его оси сжимающей силой. В работе [9] обсуждаются вопросы правомерности проектирования деревянных внецентренно сжатых и сжато-изогнутых стоек по единой методике и формулам СНиП-25-80.

В данной работе рассматриваются вопросы упругого расчёта элементов строительных конструкций, нагруженных касательными нагрузками.

Внецентренно нагруженная массивная колонна. Пусть имеется массивная колонна с постоянным поперечным сечением площадью A (рис. 1). На колонну действуют внецентренно приложенная сосредоточенная сила F и касательная нагрузка интенсивности $t(z)$, направленная по боковой поверхности колонны на длине $l_t = b - a$. Колонна будет находиться в условиях упругого внецентренного сжатия.

Согласно принципу независимости действия сил, нормальное напряжение σ_z в произвольном сечении колонны, в точке с координатами (x, y) , в соответствии с [10], будет определяться соотношением

$$\sigma_z = \frac{F + F_t}{A} \left(1 + \frac{F y_F + F_t y_t}{F + F_t} \cdot \frac{y}{i_x^2} + \frac{F x_F + F_t x_t}{F + F_t} \cdot \frac{x}{i_y^2} \right). \quad (1)$$

Здесь (X, Y) – главные центральные оси инерции поперечного сечения колонны; (x_F, y_F) – координаты точки приложения сосредоточенной силы F ; (x_t, y_t) – координаты начальной точки приложения распределённой касательной нагрузки;

$i_x^2 = \frac{I_x}{A}$; $i_y^2 = \frac{I_y}{A}$ – квадраты радиусов инерции поперечного сечения стержня;

$F_t(z)$ – равнодействующая от касательной нагрузки, причём для разных поперечных сечений равнодействующая от касательной нагрузки будет разная:

если $0 \leq z \leq a$, то $F_t(z) = 0$;

если $a \leq z \leq z_0$, где $a \leq z_0 \leq b$, то $F_t = \int_0^{z_0} t(z) dz$;

если $z \geq b$, то $F_t = \int_0^{l_t} t(z) dz$.

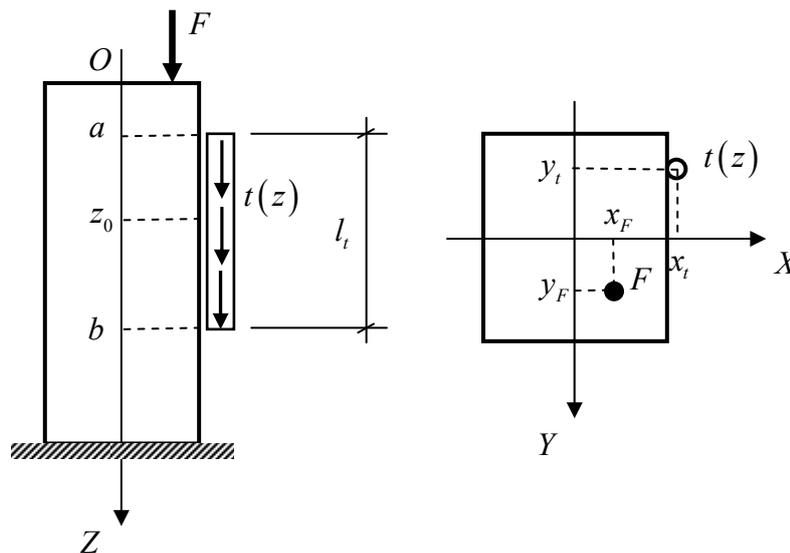


Рис. 1. Внецентренно сжатая колонна и её поперечное сечение

Продольно-поперечный изгиб массивного стержня. При расчёте массивного стержня, находящегося в условиях продольно-поперечного изгиба, пользоваться принципом независимости действия сил допустимо [11]. Рассмотрим пример вычисления внутренних усилий в стержне, нагруженном по всей длине равномерно распределёнными поперечной q и касательной t нагрузками (рис. 2).

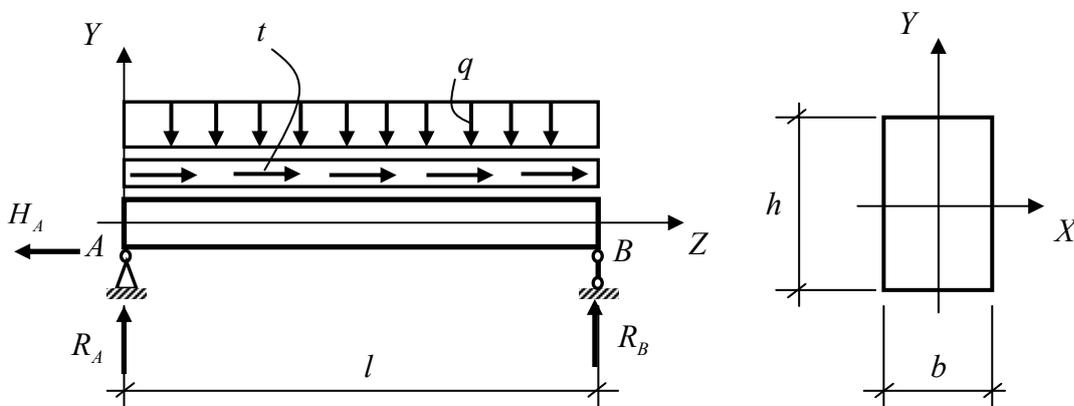


Рис. 2. Балка в условиях продольно-поперечного изгиба

Определяем опорные реакции: $R_A = q \frac{l}{2} - t \frac{h}{2}$; $R_B = q \frac{l}{2} - t \frac{h}{2}$; $H_A = tl$.

Вычисляем внутренние усилия:

$$M(z) = R_A z + t \frac{hz}{2} - q \frac{z^2}{2}; \quad Q(z) = R_A + qz; \quad N(z) = H_A + tz.$$

Отсюда следует, что влияние касательной нагрузки тем значительнее, чем больше вертикальный размер поперечного сечения балки.

Продольно-поперечный изгиб гибкого стержня. Для гибкого стержня, находящегося в условиях продольно-поперечного изгиба, принцип независимости действия сил места не имеет. Расчёт таких стержней необходимо производить по деформированной схеме.

Рассмотрим гибкий стержень длиной l на двух опорах (рис. 3). Пусть поперечное сечение стержня будет прямоугольным с размерами $b \times h$. На стержень действуют произвольная поперечная нагрузка $F(z)$, продольная нагрузка в виде сосредоточенной силы P , а также касательная нагрузка интенсивности $t(z)$.

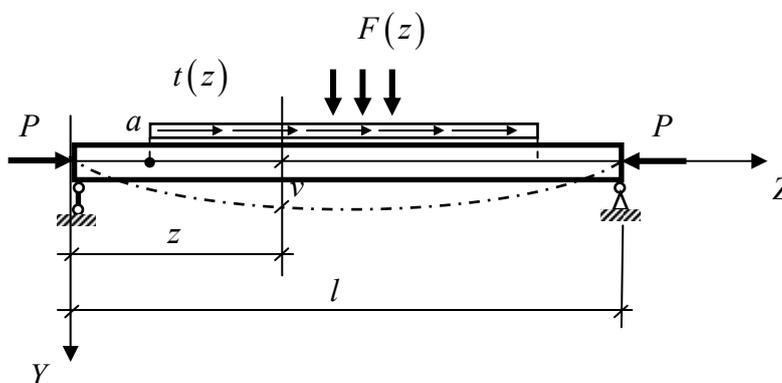


Рис. 3. Гибкий стержень в условиях продольно-поперечного изгиба

В произвольном сечении z изгибающий момент будет равен:

$$M(z) = M_0 + Pv + \frac{h}{2} \int_{z=a}^z t(z) dz. \quad (2)$$

Здесь M_0 — изгибающий момент только от поперечных сил.

Дифференциальное уравнение оси изогнутого стержня будет записываться в следующей форме:

$$\frac{d^2 v}{dz^2} = -\frac{M_0 + Pv}{EI} - \frac{h}{2EI} \int_{z=a}^z t(z) dz. \quad (3)$$

Введя обозначение $k^2 = \frac{P}{EI}$, приведём уравнение (3) к виду

$$\frac{d^2 v}{dz^2} + k^2 v = -\frac{M_0}{EI} - \frac{h}{2EI} \int_{z=a}^z t(z) dz. \quad (4)$$

Получили обыкновенное дифференциальное уравнение второго порядка с правой частью. Его общее решение складывается из общего решения v_1 соответствующего однородного уравнения $v_1 = A \cos kz + B \sin kz$ и частного решения v_2 неоднородного

уравнения (4), зависящего от вида правой части, то есть от вида нагрузок, действующих на стержень.

В качестве примера рассмотрим стержень на двух опорах, нагруженный равномерно распределёнными нормальной q и касательной t нагрузками по всей длине

пролёта и сжимающей силой P . В этом случае $M_0 = \frac{qz}{2}(l-z)$, $\frac{h}{2} \int_0^z t(z) dz = tz \frac{h}{2}$, то

есть уравнение (4) будет иметь вид

$$\frac{d^2v}{dz^2} + k^2v = -\frac{qz}{2EI}(l-z) - tz \frac{h}{2EI}. \quad (5)$$

Частное решение неоднородного дифференциального уравнения (5) можно записать в следующем виде:

$$v_2 = -\frac{q}{2P} \left[z(l-z) + \frac{2}{k^2} \right] - \frac{th}{2Pk^2} z. \quad (6)$$

Общий интеграл дифференциального уравнения (6) будет равен:

$$v = v_1 + v_2 = A \cos kz + B \sin kz - \frac{q}{2P} \left[z(l-z) + \frac{2}{k^2} \right] - \frac{th}{2Pk^2} z. \quad (7)$$

Произвольные постоянные A и B найдём из условий на опорах: $v(0) = 0$; $v(l) = 0$:

$$A = \frac{q}{Pk^2}; \quad B = \frac{q}{Pk^2} \frac{1 - \cos kl}{\sin kl} + \frac{thl}{2Pk^2 \sin kl}. \quad (8)$$

С учётом выражений (8), уравнение изогнутой оси (7) рассматриваемой балки получает вид:

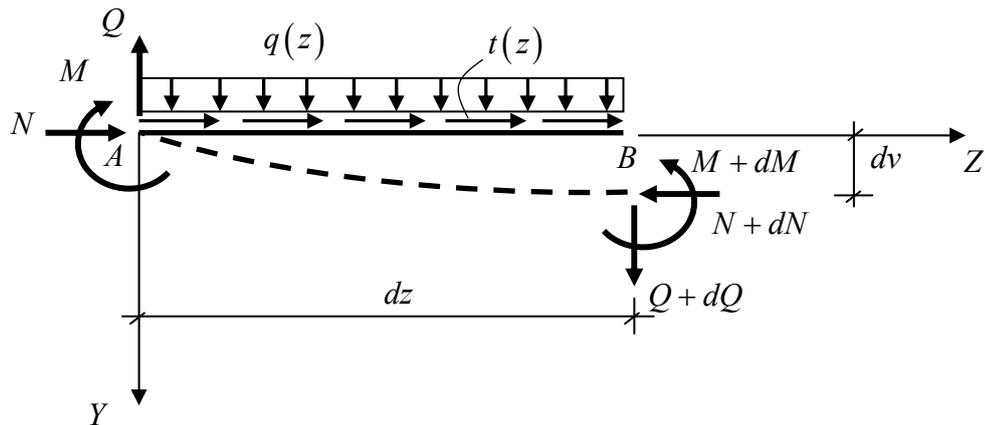
$$v(z) = \frac{q}{Pk^2} \cos kz + \frac{q}{Pk^2} \frac{1 - \cos kl}{\sin kl} \sin kz - \frac{q}{2P} \left[z(l-z) + \frac{2}{k^2} \right] + \frac{th}{2Pk^2} \left(l \frac{\sin kz}{\sin kl} - z \right). \quad (9)$$

Из условия $\frac{dv(z)}{dz} = 0$ можно найти координату z_m , соответствующую экстремальному значению прогиба. При этом для определения z_m необходимо решить трансцендентное уравнение

$$\frac{q}{P} z - \frac{q}{Pk} \sin kz + \left[\frac{q}{Pk} \frac{1 - \cos kl}{\sin kl} - \frac{thl}{2Pk \sin kl} \right] \cos kz = \frac{ql}{2P} + \frac{th}{2Pk^2}. \quad (10)$$

Оценить влияние касательной нагрузки на величину прогиба балки, наверное, можно только численно.

Дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня при продольно-поперечном изгибе с произвольными краевыми условиями. Рассмотрим стержень с постоянным поперечным сечением, находящийся в условиях плоского продольно-поперечного изгиба. На стержень действуют продольная сила P , поперечная нагрузка $q(z)$ и касательная нагрузка $t(z)$. Пусть расстояние от нейтральной линии стержня до верхнего (фибрового) волокна, где приложена касательная нагрузки, равно h . Выделим элемент стержня длиной dz (рис. 4).


 Рис. 4. Элемент стержня dz

Элемент стержня AB после деформации (пунктирная линия) находится в равновесии, то есть

$$\sum Z = 0. \quad -N + t \cdot dz + N + dN = 0, \text{ то есть } t = -\frac{dN}{dz}. \quad (11)$$

$$\sum Y = 0. \quad -Q + q \cdot dz + Q + dQ = 0, \text{ то есть } q = -\frac{dQ}{dz}. \quad (12)$$

$$\sum M_B = 0. \quad M - M - dM - N \cdot dv - q \frac{dz^2}{2} + th \cdot dz + Q \cdot dz = 0.$$

Отсюда, пренебрегая квадратом элемента длины dz как малой величиной высшего порядка и разделив уравнение на dz , получим:

$$\frac{dM}{dz} = -N \frac{dv}{dz} + Q + th. \quad (13)$$

Продифференцировав обе части зависимости (13) по z , преобразуем уравнение (13) к виду:

$$\frac{d^2 M}{dz^2} = -\frac{dN}{dz} \frac{dv}{dz} - N \frac{d^2 v}{dz^2} + \frac{dQ}{dz} + h \frac{dt}{dz}. \quad (14)$$

Учитывая, что $M = -EI \frac{d^2 v}{dz^2}$, и принимая во внимание соотношения (11) и (12), приходим к дифференциальному уравнению

$$EI \frac{d^4 v}{dz^4} + N \frac{d^2 v}{dz^2} + t \frac{dv}{dz} = q + h \frac{dt}{dz}. \quad (15)$$

Уравнение (15) представляет собой дифференциальное уравнение упругой линии сжато-изогнутого стержня постоянного сечения, находящегося в условиях упругого плоского продольно-поперечного изгиба.

Если продольная сила и касательные нагрузки отсутствуют, то уравнение (15) переходит в дифференциальное уравнение изогнутой оси стержня при плоском поперечном изгибе. Если на стержень действуют только распределённая поперечная и касательная нагрузки, то уравнение (15) получает вид

$$EI \frac{d^4 v}{dz^4} + t \frac{dv}{dz} = q + h \frac{dt}{dz}. \quad (16)$$

Интегрирование уравнения (15) с точки зрения математики особых трудностей не представляет. Однако, если сжато-изогнутый стержень нагружен совокупностью дискретных сосредоточенных и распределённых нагрузок, то его интегрирование будет связано с необходимостью использования условия сопряжения отдельных участков стержня и условий на опорах. Связанные с этим трудоёмкие вычисления делают эту операцию практически трудновыполнимой.

Для построения решения уравнения (15) в аналитической форме целесообразно обратиться к методу Коши, успешно применённому А.Н. Крыловым к балкам на упругом основании [12].

Заключение и выводы.

1. Стержень, нагруженный касательными нагрузками по его боковой поверхности, находится, вообще говоря, в условиях продольно-поперечного изгиба.
2. Влияние касательной нагрузки на напряжённо-деформированное состояние массивного стержня, находящегося в условиях продольно-поперечного изгиба, определяется геометрическими размерами его поперечного сечения.
3. Оценить влияние касательной нагрузки на напряжённо-деформированное состояние гибкого стержня при его продольно-поперечном изгибе можно лишь численно.
4. Полученное дифференциальное уравнение упругой линии сжато-изогнутого стержня постоянного поперечного сечения с поперечными, продольными и касательными нагрузками может найти практическое применение для определения напряжённо-деформированного состояния элементов строительных конструкций, находящихся в условиях продольно-поперечного изгиба.

Список литературы

1. Расчёты на прочность в машиностроении. Т. I. Теоретические основы и экспериментальные методы. Расчёты стержневых элементов конструкций при статической нагрузке / под ред. С.Д. Пономарёва. – М.: Машгиз, 1956. – 884 с.
2. Фан-дер-Флит, А. Об одной задаче строительной механики / А. Фан-дер-Флит // Известия собрания инженеров путей сообщения. – 1903. – №10, 11, 12.
3. Завриев, К.С. Расчёты стержней, подвергающихся одновременному действию изгиба и сжатия / К.С. Завриев // Вестник общества технологов. – 1913.
4. Завриев, К.С. Расчётные формулы прочности в особых случаях / К.С. Завриев. – М.: ОНТИ. 1935.
5. Немировский, Ю.В. Продольно-поперечный изгиб многослойного стержня из физически нелинейного материала / Ю.В. Немировский, С.В. Тихонов // Вестник Чувашского государственного педагогического университета им. И.Я. Яковлева. Серия: Механика предельного состояния. – 2020. – № 3 (45). – С. 247–253.
6. Семёнов, В.В. Расчет гибких стержней на продольно-поперечный изгиб / В.В. Семёнов, Х. Уламбаяр // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. – 2018. – Т. 8, № 2 (25). – С. 148–158.
7. Царенко, С.Н. Продольно-поперечный изгиб стержней переменной жесткости / С.Н. Царенко // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – № 1 (685). – С. 5–13.
8. Каган-Розенцвейг, Л.М. Развитие прикладного метода расчета сжато-изогнутых стержней / Л.М. Каган-Розенцвейг // Вестник гражданских инженеров. – 2017. – № 4 (63). – С. 130–134.
9. Пятикрестовский, К.П. О расчете внецентренно сжатых и сжато-изгибаемых элементов из клееной и цельной древесины / К.П. Пятикрестовский // Строительная механика и расчет сооружений. – 2013. – № 3 (248). – С. 62–68.
10. Бакушев, С.В. Теоретические основы расчёта внецентренно сжатого стержня, нагруженного совокупностью сосредоточенных сил / С.В. Бакушев, Д.А. Казаков // Электронный журнал «Моделирование и механика конструкций». – 2018. – Вып. №8.

11. Соппротивление материалов / под ред. А.Ф. Смирнова. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1975. – 480 с.
12. Макушин, В.М. Теория упругой линии при продольно-поперечном изгибе / В.М. Макушин // Труды Московского механико-машиностроительного института. – 1939. – Вып. 56/3.

References

1. Strength calculation in mechanical engineering. Vol. 1 Theoretical foundations and experimental methods. Calculations of rod structural elements under static load / Edited by S.D. Ponomarev. – М.: Mashgiz, 1956. – 884 p.
2. Fan-der-Flit, A. On a problem in structural mechanics / A. Fan-der-Flit // Proceedings of railway engineers meeting. – 1903. – No. 10, 11, 12.
3. Zavriev, K.S. Calculations of rods subjected to the simultaneous action of bending and compression / K.S. Zavriev // Bulletin of the Society of Technologists. – 1913.
4. Zavriev, K.S. Calculated strength formulas in special cases / K.S. Zavriev. – М.: ONTI, 1935.
5. Nemirovskii, Y.V. Longitudinal-transverse bending of a multilayer rod made of a physically nonlinear material / Y.V. Nemirovskii, S.V. Tikhonov // Bulletin of Chuvash State Pedagogical University named after I. Ya. Yakovlev. Series: Limit State Mechanics. – 2020. – No. 3 (45). – P. 247–253.
6. Semenov, V.V. Longitudinal and transverse bending of flexible rods / V.V. Semenov, K. Ulambayar // News of Higher Educational Institutions. Investments. Construction. Property. – 2018. – Vol. 8, No. 2 (25). – P. 148–158.
7. Tsarenko, S.N. Longitudinal-transverse bending of variable stiffness rods / S.N. Tsarenko // News of higher educational institutions. Construction. – 2016. – No 1 (685). – P. 5–3.
8. Kagan-Rosenzweig, L.M. Development of the applied approach to analysis of rods subjected to bending and compression / L.M. Kagan-Rosenzweig // Bulletin of Civil Engineers. – 2017. – No 4 (63). – P. 130–134.
9. Pyatikrestovsky, K.P. On the calculation of eccentrically compressed and compressed-bending elements made of glued and solid wood / K.P. Pyatikrestovsky // Structural Mechanics and Analysis of Constructions. – 2013. – No 3 (248). – P. 62–68.
10. Bakushev, S.V. Theoretical foundations for calculating of an eccentrically compressed rod loaded with a set of concentrated forces / S.V. Bakushev, D.A. Kazakov // Electronic journal «Modelling and structural mechanics». – 2018. – Issue No 8.
11. Resistance of materials / Edited by A.F.Smirnov. – 3rd revised edition. – М.: Vysshaya Shkola, 1975. – 480 p.
12. Makushin, V.M. The theory of an elastic line in longitudinal-transverse bending / V.M. Makushin // Proceedings of Moscow Mechanical Engineering Institute. – 1939. – Issue 56/3.

УДК 69.04

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

Россия, 430006, г. Саранск,
ул. Большевистская, д. 68,
тел.: (8342)47-71-56; факс: (8342)47-71-56

Селяев Владимир Павлович,
доктор технических наук, профессор,
академик РААСН
E-mail: ntorm80@mail.ru

Безрукова Евгения Сергеевна,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: eugenia.bezr@gmail.com

Грязнов Сергей Юрьевич,
аспирант кафедры «Строительные
конструкции»
E-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru

Бабушкина Дельмира Рафиковна,
инженер
E-mail: delmira2009@yandex.ru

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

Russia, 430006, Saransk, 68,
Bolshevistskaya St.,
tel.: +7(8342)47-71-56; fax: +7(8342)47-71-56

Selyaev Vladimir Pavlovich,
Doctor of Sciences, Professor, Academician of
the Russian Academy of Architectural and
Construction Sciences
E-mail: ntorm80@mail.ru

Bezrukova Evgenia Sergeevna,
Postgraduate of the the department «Building
Structures»
E-mail: eugenia.bezr@gmail.com

Gryaznov Sergey Yurievich,
Postgraduate of the department «Building
Structures»
E-mail: sergey.gryaznov.97@mail.ru

Babushkina Delmira Rafikovna,
Engineer
E-mail: delmira2009@yandex.ru

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ

В.П. Селяев, Е.С. Безрукова, С.Ю. Грязнов, Д.Р. Бабушкина

Рассматривается возможность создания вероятностного метода оценки долговечных железобетонных конструкций, основанного на применении деградационных моделей и функций. Методика оценки надежности и долговечности позволяет прогнозировать конструкционное обеспечение ресурсов элементов в условиях действия механических нагрузок и агрессивных сред. Методика предложена на примере однопролетной шарнирно опертой железобетонной балки прямоугольного сечения, на которую действует равномерно распределенная нагрузка, в условиях действия агрессивной среды в виде 2 % раствора H_2SO_4 .

Ключевые слова: железобетонные конструкции, надежность, долговечность, агрессивная среда, деградационная функция, вероятностные методы оценки долговечности

PROBABILITY ASSESSMENT OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES' DURABILITY BY THE METHOD OF STATISTICAL LINEARIZATION OF DEGRADATION FUNCTIONS

V.P. Selyaev, E.S. Bezrukova, S.Yu. Gryaznov, D.R. Babushkina

The possibility of creating a probabilistic method for assessing durable reinforced concrete structures based on the use of degradation models and functions is considered. The technique for assessing the reliability and durability makes it possible to predict the structural provision of the resources of the elements under the conditions of the action of mechanical loads and aggressive environment. The technique is proposed on the example of a single-span pin-ended reinforced

concrete beam of rectangular section with uniformly distributed load under the action of aggressive environment in the form of a 2 % H₂SO₄ solution.

Keywords: reinforced concrete structures, reliability, durability, aggressive environment, degradation function, probabilistic methods for assessing durability

Все конструкции в процессе эксплуатации подвергаются действию агрессивных сред, которые разрушают структуру, ухудшают долговечность. Поэтому проблема прогнозирования, оценки долговечности строительных конструкций приобретает весьма универсальный характер и обращает на себя пристальное внимание со стороны ученых, практиков [1–9].

Предложено множество методов прогнозирования долговечности строительных конструкций. Материаловедческий подход, развиваемый в работах С.Н. Алексеева [7], Ю.М. Баженова [8], П.Г. Комохова [9], В.М. Москвина [10], Н.А. Мощанского [11], Н.К. Розенталя [12], В.П. Селяева [13], В.И. Соломатова [14], основан на анализе физико-химических процессов взаимодействия между реакционноспособными компонентами материала и агрессивной среды. В результате химического взаимодействия в материале конструкции образуются водорастворимые соединения, которые вымываются или диффундируют из объема конструкции в окружающую среду. Масса вымываемых химических элементов коррелируется с потерей прочности материала.

Конструкционный подход, основанный на анализе изменения под действием агрессивной среды физико-механических характеристик материала, расчетных моделей по несущей способности, трещиностойкости, развивается в работах В.И. Соломатова [14–15], В.П. Селяева [4, 13–15].

Математическое моделирование процесса снижения несущей способности конструкций под действием агрессивных сред рассмотрено в работах Б.В. Гусева [12], П.Г. Комохова [9], Е.А. Гусева [16], В.Ф. Степановой [17].

В настоящее время развиваются представления о случайном (вероятностном) характере процесса взаимодействия агрессивной среды с материалом конструкции. Вероятностные подходы к расчету строительных конструкций получили глубокое обоснование в работах Н.С. Стрелецкого, В.В. Болотина [5, 6], А.Р. Ржаницына [1–3], В.П. Чиркова [18], А.П. Кудзиса [19].

В предлагаемой статье рассматривается возможность создания вероятностного метода оценки долговечных железобетонных конструкций, основанного на применении деградационных моделей и функций.

Любой элемент конструкции, изделия характеризуется множеством параметров (размеры – длина, ширина, высота; физико-механические характеристики – прочность, модули упругости, плотность и т. д.). В процессе эксплуатации элементы конструкции подвергаются действию механических нагрузок, агрессивных сред. Численные значения параметров конструкции и внешних воздействий являются случайными величинами, которые имеют определенные средние значения и случайные статистические отклонения. Предполагается, что все значения параметров имеют нормальные законы распределения.

В случае стационарного процесса разрушение изделия произойдет, если случайная величина нагрузка превзойдет значение случайной величины несущей способности.

Возможные величины действующей нагрузки и несущей способности имеют свою плотность распределения вероятностей. Графики распределения нагрузки и несущей способности приведены на рис. 1.

Для определения вероятности безотказной работы элемента в общем случае Н.С. Стрелецкий предложил приближенный метод, основанный на определении вероятности одновременного появления двух событий: внешняя нагрузка превышает заданную величину M_0 , а несущая способность оказывается меньше этой величины ($M_u \leq M_0$).

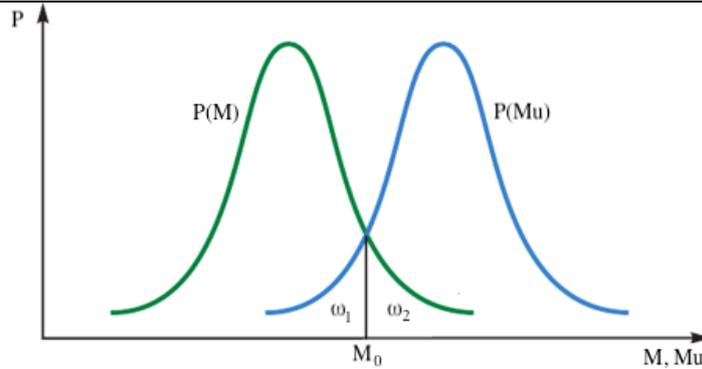


Рис. 1. Графики распределения нагрузки $P(M)$ и несущей способности $P(M_u)$

Обозначим: ω_1 – вероятность превышения нагрузкой уровня M_0 ; ω_2 – вероятность того, что несущая способность элемента конструкции меньше M_0 .

$$\omega_1 = \int_0^{M_0} f(M) dM; \omega_2 = \int_{M_0}^{\infty} f(M_u) dM.$$

Вероятность одновременного наступления двух указанных событий будет выражаться произведением вероятностей появления каждого из них. Следовательно, вероятность отказа q будет определяться неравенством

$$q > \omega_1 \omega_2.$$

Тогда вероятность безотказной работы P конструкции будет определяться неравенством

$$P > (1 - \omega_1)(1 - \omega_2),$$

или $1 - P \leq \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 \omega_2$, $q < \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 \omega_2$.

Вероятность отказа элемента строительной конструкции, по Н.С. Стрелецкому, оценивается неравенством

$$\omega_1 \omega_2 < q < \omega_1 + \omega_2 - \omega_1 \omega_2.$$

Для решения практических задач Н.С. Стрелецкий ввел характеристику Γ , названную им гарантией неразрушимости:

$$\Gamma = 1 - \omega_1 \omega_2.$$

Развитие вероятностных методов расчета строительных конструкций с учетом действия агрессивных сред представлено в работах В.П. Чиркова [18], А.П. Кудзиса [19], Л.М. Пухонто [20], В.П. Селяева [4], которые вероятность разрушения рассматривают с учетом модели А.Р. Ржаницына [1–3]. Предполагается: все расчетные (q_i) параметры изделия, нагрузки, внешних воздействий являются случайными и подчиняются нормальному распределению; функция неразрушимости ($\Psi = M_u - M > 0$), является линейной функцией от расчетных параметров. Функция неразрушимости Ψ представлена разностью усилий, воспринимаемых изделием (M_u) и создаваемых внешними воздействиями – M .

Если распределения M_u и M будут нормальными, то и Ψ будет также подчиняться нормальному закону распределения. Учитывая, что M_u и M – независимые случайные величины, предлагаем определять центр и дисперсию функции Ψ по формулам:

$$M(\Psi) = \bar{M}_u - \bar{M}; S^2(\Psi) = S^2(M_u) + S^2(M), \quad (1)$$

где $M(\Psi)$, \bar{M}_u и \bar{M} – математические ожидания, средние значения; $S^2(\Psi)$, $S^2(M_u)$, $S^2(M)$ – дисперсии случайных величин.

С учетом формул (1) вводится показатель γ – индекс надежности (по Стрелецкому) или характеристика безопасности (по А.Р. Ржаницыну):

$$\gamma = \frac{\bar{M}_u - \bar{M}}{\sqrt{S^2(M_u) + S^2(M)}}. \quad (2)$$

Если принять $\gamma = 3$, то надежность изделия составит $P = 0,9987$.

Характеристику безопасности γ можно определять через коэффициент запаса ξ по формуле вида

$$\gamma = (\xi - 1) / \sqrt{A_R^2 \xi^2 + A_Q^2}, \quad (3)$$

где $\xi = \bar{M}_u - \bar{M}$; $A_R = \frac{S^2(M_u)}{\bar{M}_u^2}$; $A_Q = S^2(M) / \bar{M}^2$.

Величины A_R и A_Q представляют собой изменчивости значений M_u и M , равные отношению стандарта соответствующей величины к ее центру.

Если зависимость функции Ψ от расчетных параметров не является линейной, то ее можно линеаризовать путем разложения в ряд Тэйлора в окрестностях центра распределения случайных величин и отбрасывания нелинейных членов разложения. Этот прием называется методом статистической линеаризации.

Так, функцию $\bar{M}_u = M(\bar{R}_s, \bar{R}_e, \bar{h}_0, \bar{a})$ можно выразить приближенно в виде:

$$\begin{aligned} \tilde{M}(\tilde{R}_s, \tilde{R}_e, \tilde{h}_0, \tilde{a}) &\approx M(\bar{R}_s, \bar{R}_e, \bar{h}_0) + \frac{\partial M}{\partial R_s}(R_s, R_e, h_0, a)(\tilde{R}_s - \bar{R}_s) + \\ &+ \frac{\partial M}{\partial R_e}(R_s, R_e, h_0, a)(\tilde{R}_e - \bar{R}_e) + \frac{\partial M}{\partial h_0}(R_s, R_e, h_0, a)(\tilde{h}_0 - \bar{h}_0) \times \\ &\times \frac{\partial M}{\partial a}(R_s, R_e, h_0, a)(\tilde{a} - \bar{a}). \end{aligned} \quad (4)$$

Обозначив производные по порядковому номеру члена суммы $A_2, A_3, A_4, A_5, \dots$, получим:

$$\tilde{M} \approx M_0 + A_2(\tilde{R}_s - \bar{R}_s) + A_3(\tilde{R}_e - \bar{R}_e) + A_4(\tilde{h}_0 - \bar{h}_0) + A_5(\tilde{a} - \bar{a}). \quad (5)$$

Тогда находим приближенные значения центра и дисперсии случайной величины \tilde{M} :

$$\tilde{M} \approx M_0; S^2(\tilde{M}) \approx A_2^2 S^2(R_s) + A_3^2 S^2(R_e) + A_4^2 S^2(h_0) + A_5^2 S^2(a). \quad (6)$$

Влияние агрессивной среды на изменение надежности строительной конструкции будем определять методом деградационных функций. Для этого запишем индекс надежности с учетом деградации бетона в следующем виде:

$$\gamma = \frac{\bar{M}_u(t) - \bar{M}}{\sqrt{S^2(M_u) + S^2(M)}}, \quad (7)$$

где $\bar{M}_u(t)$ – несущая способность железобетонного элемента,

$$\bar{M}_u(t) = \bar{M}_u(0)D(t). \quad (8)$$

Рассмотрим железобетонный изгибаемый элемент, который эксплуатируется в среде, агрессивной по отношению к бетону. Принята однопролетная шарнирно опертая балка прямоугольного сечения ($b = 10$ см, $h = 25$ см, $l = 6$ м), выполненная из бетона класса В25, армированная 2Ø12 АП ($A_s = 226$ мм², $a = 2$ см, $h_0 = 22,4$ см). Приложена равномерно распределенная нагрузка по всей длине балки $q = 2,5$ кг/см².

Рассмотрим линейную модель деградации по классификации, приведенной в [4].

В формуле (8) $\bar{M}_u(0)$ – несущая способность изгибаемого элемента, определяемая по прочности нормального сечения по формуле

$$\bar{M}_u(0) = R_s A_s h_0 \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_g} \mu \right). \quad (9)$$

В первом приближении $D(t)$ имеет вид:

$$D(t) = 1 - \frac{0,5 \frac{\delta}{h_0} (1 - k_{xc})}{1 - 0,5 \frac{R_s}{R_g} \mu}. \quad (10)$$

Экспериментально-теоретическими методами установлено [4], что изменение глубины проникания агрессивной среды в бетон (глубинный показатель δ) предпочтительно определять по формуле вида

$$\delta = k(\xi) \sqrt{Dt}. \quad (11)$$

Изменение прочности бетона внешних слоев, контактирующих с агрессивной средой, предложено [4] определять по формуле

$$k_{xc} = \exp\{-kt\}. \quad (12)$$

Тогда изменение во времени момента, воспринимаемого поперечным сечением балки, можно описать функцией вида

$$M_u(t) = M_u(0) \cdot D(t) = R_s A_s h_0 \left(1 - 0,5 \frac{R_s}{R_g} \mu \right) - R_s A_s h_0 \times \\ \times \left[0,5 \frac{k(\xi) \sqrt{Dt}}{h_0} (1 - \exp\{-kt\}) \right]. \quad (13)$$

В формуле (7) \bar{M} – момент в расчетном сечении балки от действия внешней нагрузки q . Примем простейший случай $\bar{M} = ql^2 / 8$, где l – пролет балки.

В приведенных формулах случайными величинами являются: \bar{R}_s – предел прочности арматуры; R_g – предел прочности бетона; \bar{h}_0 – высота поперечного сечения балки; \bar{q} – равномерно распределенная нагрузка; k_{xc} – коэффициент химического сопротивления; δ – глубинный показатель.

Изменение коэффициента химического сопротивления k_{xc} и глубинного показателя δ во времени принято исходя из экспериментальных данных экспонирования образцов (наполнение – 10 % ОПФ) в 2 % растворе H₂SO₄ (рис. 2–3).

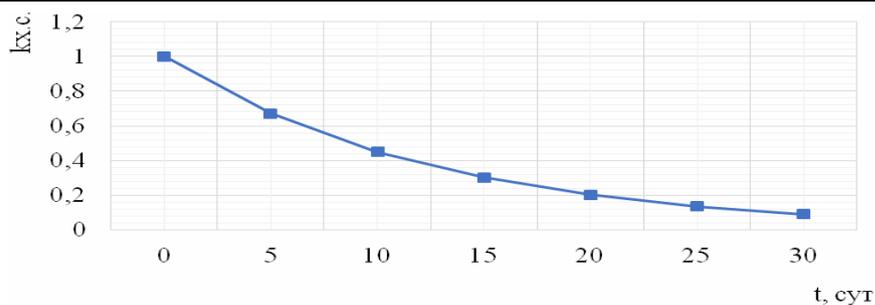


Рис. 2. Изменение коэффициента химического сопротивления при экспонировании образцов (наполнение – 10 % ОПФ) в 2 % растворе H_2SO_4

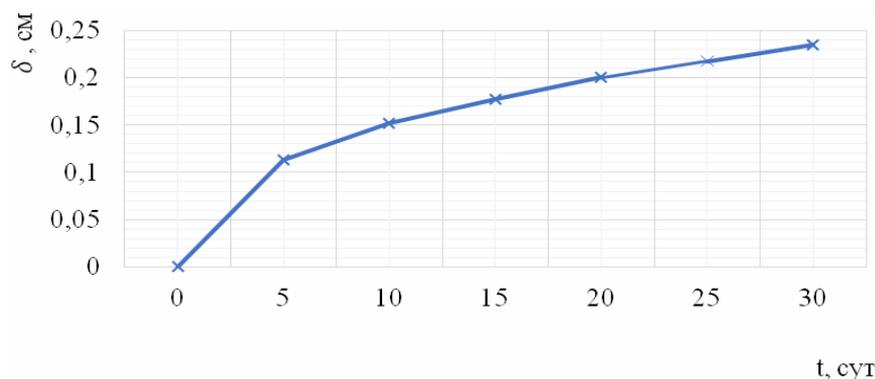


Рис. 3. Изменение глубинного показателя δ при экспонировании образцов (наполнение – 0 % ОПФ) в 2 % растворе H_2SO_4 , см

Определим частные производные:

$$\frac{\partial M_u}{\partial R_s} = A_1; \quad \frac{\partial M_u}{\partial A_s} = A_2; \quad \frac{\partial M_u}{\partial h_0} = A_3; \quad \frac{\partial M_u}{\partial \delta} = A_4; \quad \frac{\partial M_u}{\partial k_{xc}} = A_5; \quad \frac{\partial M_u}{\partial q} = A_6, \quad (14)$$

$$\text{где } A_1 = A_s h_0 - \frac{R_s A_s^2}{R_g b} - 0,5 \delta A_s + 0,5 \delta k_{xc} A_s;$$

$$A_2 = R_s h_0 - \frac{R_s^2 A_s}{R_g b} - 0,5 \delta R_s + 0,5 \delta k_{xc} R_s;$$

$$A_3 = R_s A_s;$$

$$A_4 = -0,5 R_s A_s + 0,5 k_{xc} A_s;$$

$$A_5 = 0,5 \delta R_s A_s;$$

$$A_6 = \ell^2 / 8.$$

Тогда найдем приближенные значения центра (математическое ожидание) \bar{M}_u и дисперсии $S^2(M_u)$ по формулам:

$$\bar{M}_u = \bar{M}_u(0) D(t); \quad (15)$$

$$S^2(M_u) = A_1^2(R_s) + A_2^2 S^2(A_s) + A_3^2 S^2(h_0) + A_4^2 S^2(\delta) + A_5^2 S^2(k_{xc}); \quad (16)$$

$$\bar{M} = \bar{q} \frac{\bar{\ell}^2}{8}; \quad S^2(M) = A_6^2 S^2(M). \quad (17)$$

Подставив полученные значения в формулу (7), находим индекс надежности γ (табл. 3). Так как параметры δ и k_{xc} являются переменными во времени, то, прини-

мая, что дисперсии этих параметров во времени не меняются, можем построить график изменения во времени индекса γ (рис. 4).

Исходные данные для вычисления формул (15)–(17) представлены в табл. 1–2.

Т а б л и ц а 1

Исходные параметры для расчета (постоянные)

№ п/п	Параметры	R_s	A_s	R_b	h_0	b
1	Ед. изм.	кг/см ²	см ²	кг/см ²	см	см
2	Среднее значение	4425	2,38	247	24,4	10,89
3	Расчетное значение	3722	2,19	148	20,4	9,95
4	Нормативное значение	4280	2,26	192	22,4	10
5	Коэффициент вариации υ_n	0,02	0,03	0,135	0,05	0,05

Т а б л и ц а 2

Исходные параметры для расчета (переменные)

№ п/п	Варьируемые параметры	Единица измерения	Среднее значение	Коэффициент вариации υ_n	Изменчивость параметров S_x	Время t , сут
1	δ		0	0,05	0	0
			0,11		0,0055	5
			0,15		0,0075	10
			0,17		0,0085	15
			0,20		0,0100	20
			0,22		0,0110	25
			0,23		0,0115	30
2	$k_{x.c.}$		1	0,2	0,200	0
			0,67		0,134	5
			0,45		0,090	10
			0,30		0,060	15
			0,20		0,040	20
			0,14		0,028	25
			0,09		0,018	30

Для расчета табл. 3 предварительно примем $k(\xi) = 0,1$.

Т а б л и ц а 3

Определение надежности конструкции

№ п/п	Параметры	M_u	M	$S^2(M_u)$	$S^2(M)$	γ
1	Ед. изм.	кг·см	кг·см	(кг·см) ²	(кг·см) ²	
2	Среднее значение при t , сут					
	0	166284,072	112500	225585987,63	25628906,25	3,39337
	5	166112,4663		225485681,98		3,38322
	10	165766,0817		225349172,87		3,36227
	15	165392,4979		225239906,25		3,33942
	20	164982,0726		225118879,76		3,31430
	25	164618,9793		225032861,75		3,29194
	30	164246,9718		224973517,98		3,26883

Таким образом, индекс надежности железобетонной шарнирно опертой балки прямоугольного сечения примет следующий вид (рис. 4).

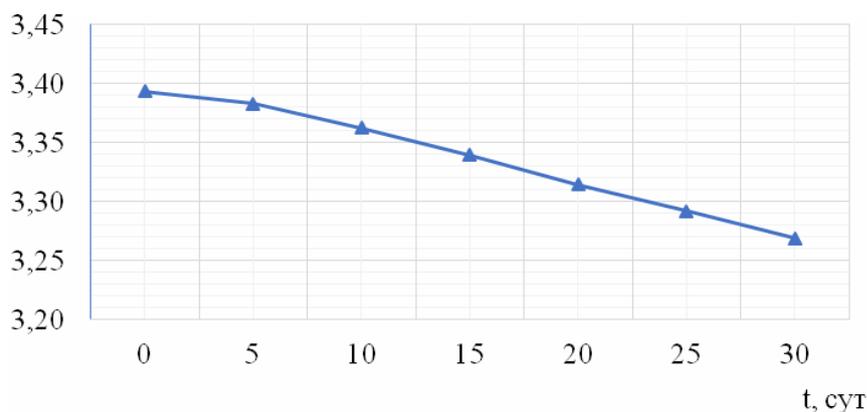


Рис. 4. Изменение индекса надежности γ во времени

Таким образом, в статье предложена методика оценки надежности и долговечности строительных конструкций на примере железобетонной балки, которая основана на применении деградационных моделей и функций и позволяет прогнозировать конструкционное обеспечение ресурсов элементов.

Список литературы

1. Ржаницын, А.Р. Определение запаса прочности сооружений / А.Р. Ржаницын // Строительная промышленность. – 1947. – № 8. – С. 11–14.
2. Ржаницын, А.Р. Статистическое обоснование расчетных коэффициентов: материалы к теории расчета по предельным состояниям / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1949.
3. Ржаницын, А.Р. Теория расчета строительных конструкций на надежность / А.Р. Ржаницын. – М.: Стройиздат, 1978. – 239 с.
4. Селяев, В.П. Физико-химические основы механики разрушения цементных композитов: монография / В.П. Селяев, П.В. Селяев. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2018. – 220 с.
5. Болотин, В.В. Статистические методы в строительной механике / В.В. Болотин. – М.: Стройиздат, 1965. – 279 с.
6. Стрелецкий, Н.С. Основы статистического учета коэффициента запаса прочности сооружений / Н.С. Стрелецкий. – М.: Стройиздат, 1947. – 95 с.
7. Алексеев, С.Н. Коррозионная стойкость железобетонных конструкций в агрессивной промышленной среде / С.Н. Алексеев, Н.К. Розенталь. – М.: Стройиздат, 1976. – 205 с.
8. Баженов, Ю.М. Модифицированные высококачественные бетоны / Ю.М. Баженов, В.С. Демьянова, В.И. Калашников. – М.: АСВ, 2006. – 368 с.
9. Комохов, П.Г. Долговечность бетона и железобетона / П.Г. Комохов, В.М. Латышов, Р.Ф. Вагапов. – Уфа: Белая река, 1988. – 216 с.
10. Москвин, В.М. Коррозия бетона / В.М. Москвин. – М.: Госстройиздат, 1952. – 342 с.
11. Мощанский, Н.А. Прочность и стойкость бетона / Н.А. Мощанский. – М.: Госстройиздат, 1951. – 175 с.
12. Гусев, Б.В. Математические модели процессов коррозии бетона / Б.В. Гусев, А.С. Файтусович, В.Ф. Степанова, Н.К. Розенталь. – М., 1996. – 102 с.
13. Селяев, В.П. Расчет долговечности железобетонных конструкций / В.П. Селяев // Вестн. Морд. ун-та. – 2008. – № 4. – С. 140–149.
14. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев, Ю.А. Соколова. – М.: РААСН, 2001. – 284 с.

15. Соломатов, В.И. Химическое сопротивление композиционных строительных материалов / В.И. Соломатов, В.П. Селяев. – М.: Стройиздат, 1987. – 264 с.
16. Москвин, В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты / В.М. Москвин, Ф.М. Иванов, С.Н. Алексеев, Е.А. Гузеев. – М.: Стройиздат, 1980. – 536 с.
17. Степанова, В.Ф. Долговечность бетона / В.Ф. Степанова. – М., 2014. – 126 с.
18. Чирков, В.П. Основы теории расчета ресурса железобетонных конструкций / В.П. Чирков // Бетон и железобетон. – 1990. – № 10. – С. 15–17.
19. Кудзис, А.П. Оценка надежности железобетонных конструкций / А.П. Кудзис. – Вильнюс: Мокслас, 1985. – 156 с.
20. Пухонто, Л.М. Долговечность железобетонных конструкций инженерных сооружений / Л.М. Пухонто. – М., 2004. – 423 с.

References

1. Rzhnitsyn, A.R. Determination of the safety factor of structures / A.R. Rzhnitsyn // Construction industry. – 1947. – № 8. – P. 11–14.
2. Rzhnitsyn, A.R. Statistical substantiation of design coefficients: materials for the theory of calculation by limiting states / A.R. Rzhnitsyn. – М.: Stroyizdat, 1949.
3. Rzhnitsyn A.R. Theory of calculation of building structures for reliability / A.R. Rzhnitsyn. – М.: Stroyizdat, 1978. – 239 p.
4. Selyaev, V.P. Physicochemical foundations of fracture mechanics of cement composites: monograph / V.P. Selyaev, P.V. Selyaev. – Saransk: Publishing house of Mordovian University, 2018. – 220 p.
5. Bolotin, V.V. Statistical methods in structural mechanics / V.V. Bolotin. – М.: Stroyizdat, 1965. – 279 p.
6. Streletsky, N.S. Fundamentals of statistical accounting of the safety factor of structures / N.S. Streletsky. – М.: Stroyizdat, 1947. – 95 p.
7. Alekseev, S.N. Corrosion resistance of reinforced concrete structures in an aggressive industrial environment / S.N. Alekseev, N. K. Rosental. – М.: Stroyizdat, 1976. – 205 p.
8. Bazhenov, Y.M. Modified high-quality concrete / Y.M. Bazhenov, V.S. Demyanova, V.I. Kalashnikov. – М.: ASV, 2006. – 368 p.
9. Komokhov, P.G. Durability of concrete and reinforced concrete / P.G. Komokhov, V.M. Latynov, R.F. Vagapov. – Ufa: White River, 1988. – 216 p.
10. Moskvin, V.M. Corrosion of concrete / V.M. Moskvin. – М.: Gosstroyizdat, 1952. – 342 p.
11. Moshchanskiy, N.A. Strength and resistance of concrete / N.A. Moshchanskiy. – М.: Gosstroyizdat, 1951. – 175 p.
12. Gusev, B.V. Mathematical models of concrete corrosion processes / B.V. Gusev, A.S. Faitusovich, V.F. Stepanova, N. K. Rozental. – М., 1996. – 102 p.
13. Selyaev, V.P. Calculation of durability of reinforced concrete structures / V.P. Selyaev // Vestnik of Mordovian University. – 2008. – № 4. – P. 140–149.
14. Solomatov, V.I. Chemical resistance of materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev, Y.A. Sokolova. – М.: RAASN, 2001. – 284 p.
15. Solomatov, V.I. Chemical resistance of composite building materials / V.I. Solomatov, V.P. Selyaev. – М.: Stroyizdat, 1987. – 264 p.
16. Moskvin, V.M. Corrosion of concrete and reinforced concrete. Methods of their protection / V.M. Moskvin, F.M. Ivanov, S.N. Alekseev, E.A. Guzeev. – М.: Stroyizdat, 1980. – 536 p.
17. Stepanova, V. F. Durability of concrete / V. F. Stepanova. – М., 2014. – 126 p.
18. Chirkov, V.P. Fundamentals of the theory of calculating the resource of reinforced concrete structures / V.P. Chirkov // Concrete and reinforced concrete. – 1990. – № 10. – P. 15–17.
19. Kudzis, A.P. Assessment of the reliability of reinforced concrete structures / A.P. Kudzis. – Vilnius: Mokslas, 1985. – 156 p.
20. Puhonto, L.M. Durability of reinforced concrete structures of engineering structures / L.M. Puhonto. – М., 2004. – 423 p.

УДК 692.421.4

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

Гучкин Игорь Сергеевич,
кандидат технических наук, профессор
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «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

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

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Building Structures»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

УСИЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПЕРЕКРЫТИЯ СЛОЯМИ АРМИРОВАННОГО БЕТОНА

И.С. Гучкин, Н.Н. Ласьков

Рассматриваются результаты внедрения новой эффективной конструкции усиления сплошной железобетонной плиты, расположенной в перекрытии 1-го этажа производственного цеха. Причина усиления в существенной коррозии рабочей арматуры плиты и увеличении расчетной нагрузки на перекрытие. Приводятся данные результатов обследования плиты, расчеты ее несущей способности до и после усиления. Дается технология усиления плиты двумя слоями армированного бетона, объединенными с плитой стальными связями.

Ключевые слова: плита перекрытия, методика расчета, конструкция усиления, технология усиления

REINFORCEMENT OF A REINFORCED CONCRETE FLOOR SLAB FIXED ON BOTH SIDES WITH LAYERS OF REINFORCED CONCRETE

I.S. Guchkin, N.N. Laskov

The results of the introduction of a new effective reinforcement structure of a solid reinforced concrete slab located in the overlap of the 1st floor of a production shop are considered. The reason for the increase is a significant corrosion of the working reinforcement of the slab and an increase in the design load on the floor. The data of the results of the examination of the slab, calculations of its bearing capacity before and after reinforcement are given. The technology of strengthening the slab with two layers of reinforced concrete fixed with the slab with steel ties is given.

Keywords: floor slab, calculation technique, reinforcement design, reinforcement technology

Усиление плиты междуэтажного перекрытия выполнялось в связи с массовым отслоением защитного слоя и коррозией рабочей арматуры, а также существенным увеличением временной (полезной) нагрузки от нового оборудования. Причина коррозии – воздействие агрессивной паровоздушной среды снизу из подвала, где размещались различные химические реагенты, включая кислоты и щелочи.

При детальном обследовании перекрытия было установлено, что плита, работающая по балочной схеме с расчетной длиной $l_0 = 4$ м, монолитная сплошного сечения толщиной 140 мм, выполнена из тяжелого бетона на гранитном щебне. Плита армирована сетками в двух уровнях из стержневой арматуры класса АIII с защитным слоем 10–25 мм. Рабочая арматура нижней сетки стержневая диаметром 12 мм, имеет коррозию (местами) до 40 % площади поперечного сечения. Шаг стержней 200 мм. Прочность бетона в сжатой зоне сечения, по результатам неразрушающего контроля, составляет: в верхнем слое плиты – 18–21 МПа, что примерно соответствует классу В15 (марка 200), в нижнем слое, на потолочной поверхности, – 6–12 МПа.

Следует отметить, что традиционным методом радикального усиления подобных плит является устройство, состоящее из стальных или железобетонных элементов, подведенных под плиту и воспринимающих всю нагрузку [1]. Очевидными недостатками такого усиления являются большой расход материалов, нарушение эстетики и существенное уменьшение высоты помещений. Другой известный метод усиления [2] – устройство, состоящее из двух дополнительных слоев бетона, размещенных по обе стороны плиты и соединенных железобетонными шпонками. При этом рабочая арматура усиления в виде сетки располагается в нижнем слое.

Недостатки метода – сложность бетонирования нижнего слоя (сверху через скважины в плите) и недостаточная анкеровка рабочей арматуры усиления.

Учитывая характер повреждений обследуемой плиты и неблагоприятные условия эксплуатации, авторы разработали конструкцию усиления, состоящую из двух слоев армированного бетона, расположенных сверху и снизу относительно тела плиты и объединенных между собой стальными связями. Верхний слой армируется конструктивной стальной сеткой. В нижнем слое размещается рабочая стержневая арматура, соединенная на сварке с анкерами, предварительно установленными в плите и зафиксированными с помощью эпоксидного клея. Проектное положение рабочих стержней фиксируется с помощью стальных подвесок из проволоки диаметром 4...6 мм, выполняющих одновременно функцию стальных связей между слоями усиления и препятствующих расслоению усиленной плиты при эксплуатации. Потолочная поверхность плиты, включая стержни усиления, оштукатуривается мелкозернистым бетоном класса В100 по сетке. С целью улучшения антикоррозионных качеств штукатурного слоя, в бетон добавляется латекс в соотношении вода: латекс 1:1, а штукатурная сетка принимается из базальта с ячейкой 25×25 мм. Конструкция усиления плиты показана на рис. 1.

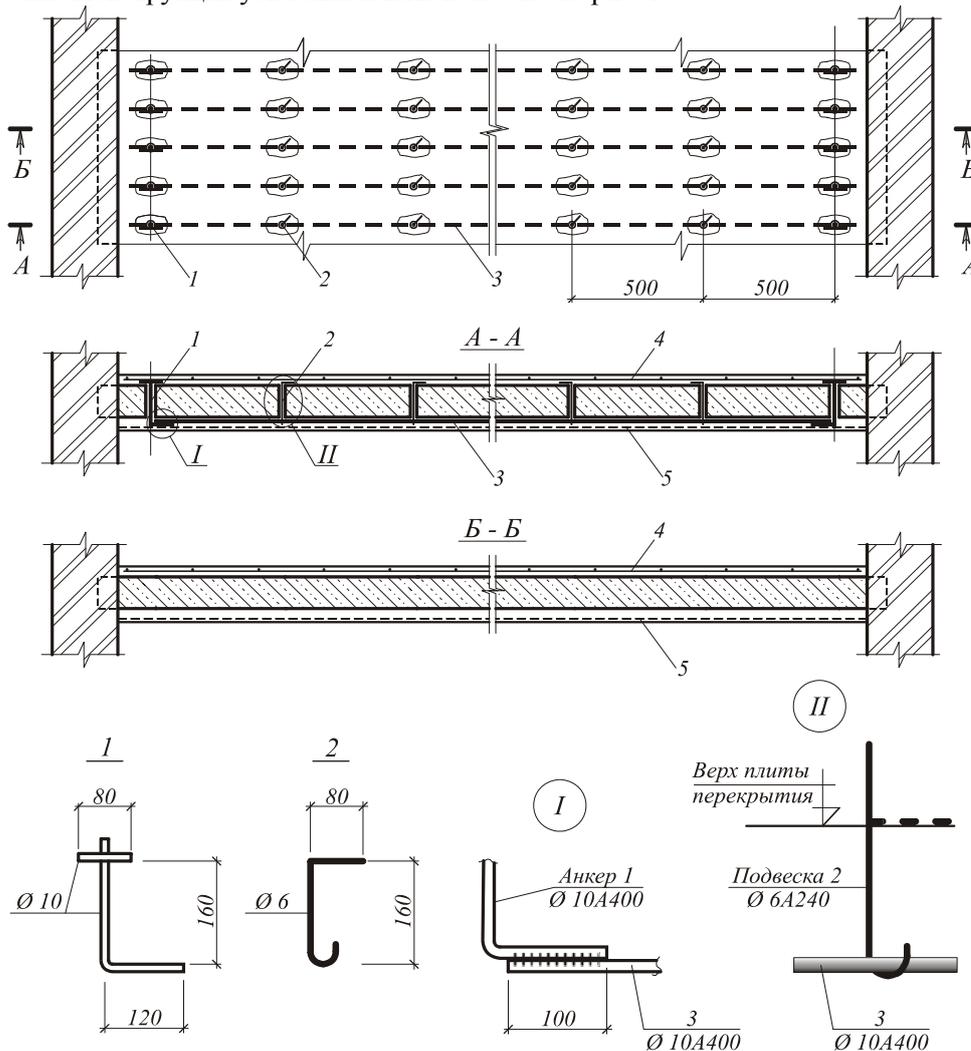


Рис. 1. Конструкция усиления плиты слоями армированного бетона

Несущая способность плиты

Плита рассчитывается в соответствии с действующими нормами [3] по схеме свободно опертой балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой.

Расчетные нагрузки на 1 м² плиты:

– от веса плиты ($h = 0,14$ м)

$$q_1 = \rho \cdot \gamma_f \cdot h = 25 \cdot 1,1 \cdot 0,14 = 3,85 \text{ кН/м}^2;$$

– от веса пола, включая керамическую плитку и цементно-песчаную стяжку

$$q_2 = 18 \cdot 1,2 \cdot 0,013 + 22 \cdot 1,3 \cdot 0,02 = 0,85 \text{ кН/м}^2;$$

– от веса конструкции усиления (2 слоя армированного бетона $2 \cdot 0,03 = 0,06$)

$$q_5 = 0,06 \cdot 25 \cdot 1,2 = 1,8 \text{ кН/м}^2;$$

– временная (полезная) после усиления

$$q_3 = 10 \cdot 1,2 = 12 \text{ кН/м}^2;$$

– временная (полезная) до усиления

$$q_4 = 5 \cdot 1,2 = 6 \text{ кН/м}^2;$$

– полная расчетная после усиления

$$q = q_1 + q_2 + q_3 + q_5 = 3,85 + 0,85 + 12 + 1,8 = 18,5 \text{ кН/м}^2.$$

Погонная нагрузка после усиления $q_n = q \cdot b = 18,5 \cdot 1 = 18,5 \text{ кН/м}$.

Изгибающий момент $M = 0,125 q_n l_0^2 = 0,125 \cdot 18,5 \cdot 4^2 = 37,0 \text{ кН} \cdot \text{м}$.

Основные параметры плиты:

бетон класса В15 – $R_b = 8,5 \cdot 0,9 = 7,65 \text{ МПа}$;

рабочая арматура класса АIII (А400) – сетки из 5 стержней диаметром 12 мм,

площадь сечения арматуры с учетом ослабления коррозией (40 %) –

$A_s = 5,65 \cdot 0,6 = 3,39 \text{ см}^2$, $R_s = 355 \text{ МПа}$; $R_s A_s = 355 \cdot 3,39 = 120345 \text{ Н}$;

сечение плиты $b \times h = 1,0 \times 0,14 \text{ м}$; рабочая высота сечения $h_0 = 0,115 \text{ м}$.

Плита нагружена равномерно распределенной нагрузкой и опирается на кирпичные стены.

Расчетные сечения плиты до и после усиления показаны на рис. 2.

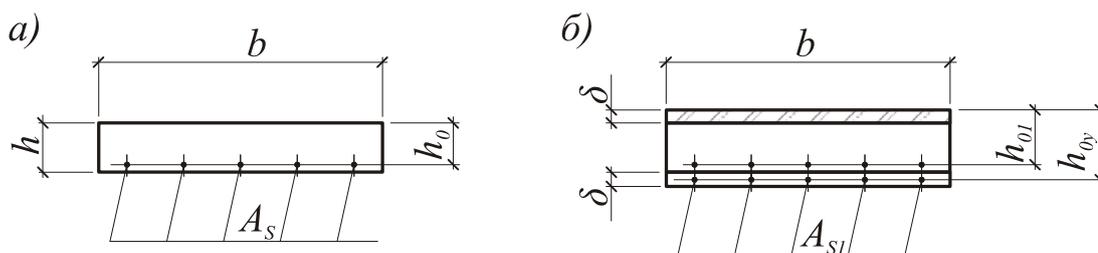


Рис.2. Расчетные сечения плиты:
а – до усиления; б – после усиления

Расчетная несущая способность сечения плиты до усиления

Высота сжатой зоны

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b \gamma_{bl} b} = \frac{120345}{7,65 \cdot 1000} = 15,73 \text{ мм}.$$

Расчетный изгибающий момент, воспринимаемый сечением:

$$M = R_s A_s \left(h_0 - \frac{x}{2} \right) = 120345 \cdot \left(115 - \frac{15,73}{2} \right) \cdot 10^{-6} = 12,9 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

Расчетная погонная нагрузка на плиту

$$q = \frac{8M}{l_0^2} = \frac{8 \cdot 12,9}{4^2} = 6,45 \text{ кН/м.}$$

Полная расчетная равномерно распределенная нагрузка на плиту

$$g_1 = \frac{q}{b} = \frac{6,45}{1,0} = 6,45 \text{ кН/м}^2 < 18,5 \text{ кН/м}^2 \text{ – несущая способность недостаточная, требуется усиление.}$$

Усиливаем плиту снизу дополнительной рабочей арматурой $5\text{Ø}10\text{A}400 - A_{s1}=3,93 \text{ см}^2$, $R_s A_{s1}=355 \cdot 393=139515 \text{ Н}$, $h_{01} = 145 \text{ мм}$, $h_{0y} = 185 \text{ мм}$ (см. рис. 2,б) с защитным слоем толщиной 30 мм.

Проверка несущей способности усиленной плиты

$$\text{Высота сжатой зоны } x = \frac{R_s A_s + R_s A_{s1}}{R_b \gamma_{b1} b} = \frac{120345 + 139515}{7,65 \cdot 1000} = 34 \text{ мм.}$$

Расчетный изгибающий момент, воспринимаемый усиленным сечением:

$$M = R_s A_s \left(h_{01} - \frac{x}{2} \right) + R_s A_{s1} \left(h_{0y} - \frac{x}{2} \right) = \\ = \left[120345 \cdot \left(145 - \frac{34}{2} \right) + 139515 \cdot \left(185 - \frac{34}{2} \right) \right] \cdot 10^{-6} = 38,88 \text{ кН} \cdot \text{м.}$$

Расчетная погонная нагрузка на усиленную плиту

$$q_1 = \frac{8M}{l_0^2} = \frac{8 \cdot 38,88}{4^2} = 19,44 \text{ кН/м.}$$

Полная расчетная нагрузка на плиту

$$g_1 = \frac{q_1}{b} = \frac{19,44}{1,0} = 19,44 \text{ кН/м}^2 > 18,5 \text{ кН/м}^2 \text{ – несущая способность усиленной}$$

плиты достаточная. Коэффициент усиления $K = \frac{q_1}{q} = \frac{19,44}{6,45} = 3,01$.

При разработке конструкции усиления особое внимание уделялось восстановлению эксплуатационных качеств плиты в растянутой зоне, т.е. в местах интенсивной коррозии бетона и арматуры. Известно, что во многих случаях после усиления плиты подрачиванием из-за плохого сцепления нового и старого бетонов в процессе эксплуатации наблюдаются отслаивание наращенного слоя и, как следствие, образование многочисленных трещин на потолочной поверхности плиты и коррозия арматуры. Чтобы избежать этого, рекомендована предварительная пескоструйная обработка бетона на всей потолочной поверхности. При этом в наращенном слое используется бетон с добавлением латекса, армированный базальтовой штукатурной сеткой [4].

Последовательность выполнения работ по усилению плиты:

- Изготавливались элементы (см. рис. 1, поз.1-3) конструкции усиления.
- С помощью пескоструйного аппарата и металлических щеток очищалась потолочная поверхность плиты от загрязнений.
 - В местах отслоений (от арматуры) удалялся защитный слой бетона.
 - Разбиралась конструкция пола, и выполнялась разметка плиты под установку рабочих стержней.
 - Сверлились в плите отверстия (скважины) под анкеры 1 и подвески 2.

- Устанавливались в проектное положение анкеры 1 и закреплялись в плите компаундом на основе эпоксидной смолы, а затем подвески.
- По окончании полимеризации смолы к анкерам последовательно приваривались стержни усиления 3 сначала одним концом, а затем – после фиксации их проектного положения подвесками 2 и нагрева током высокой частоты до температуры 120...150 °С – другим.
- Укладывалась арматурная сетка 4 на поверхность плиты и крепились к подвескам проволочными скрутками.
- Производилось бетонирование верхнего слоя усиления, и восстанавливалась конструкция пола.
- Наносился слой штукатурного раствора на потолочную поверхность плиты в промежутках между стержнями усиления.
- К стержням 3 крепились на проволочных скрутках штукатурная сетка 5, а затем поверхность повторно штукатурилась.

Выводы

1. Изучены методы радикального усиления сплошных железобетонных плит с чрезмерно раскрытыми трещинами и значительными повреждениями рабочей арматуры.
 2. Разработана эффективная конструкция усиления железобетонной плиты междуэтажного перекрытия, имеющей массовые отслоения защитного слоя и коррозию рабочей арматуры. Представлена последовательность ведения ремонтно-восстановительных работ.
 3. Произведен поверочный расчет несущей способности плиты, подтверждающий надежность усиления.
- Результаты выполненных работ показали, что усиление железобетонной плиты вышеуказанным способом технологично, малозатратно и нетрудоёмко. Усиление может выполняться в стесненных условиях, отдельными захватками без остановки производственного цикла.

Список литературы

1. Усиление железобетонной плиты монолитного перекрытия металлическими полосами, закрепленными с двух сторон: пат. Японии №57-10261.
2. Гучкин, И.С. Усиление сплошных железобетонных плит при недопустимой коррозии рабочей арматуры / И.С. Гучкин, В.В. Черячукин, Д.Н. Сафронов // Вестник ВолгГАСУ. Сер. Строительство. – 2010. – Вып. 17 (36).
3. СП 63.13330.2018. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения СНиП 52-01-2003 (с изменением №1).
4. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, № 5–8. – P. 219–225.

References

1. Reinforcement of the reinforced concrete slab of the monolithic floor with metal strips fixed on both sides: Japanese patent No. 57-10261.
2. Guchkin, I.S. Strengthening of solid reinforced concrete slabs with unacceptable corrosion of working fittings / I.S. Guchkin, V.V. Cheryachukin, D.N. Safronov // Vestnik VolgGASU. Construction series. – 2010. – Issue 17 (36).
3. SP 63.13330.2018 « Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions of SNiP 52-01-2003(with Amendment No. 1).
4. Danilov, A. Systems approach to the modeling and synthesis of building materials / A. Danilov, I. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, № 5–8. – P. 219–225.

УДК [72+69] : 620.91 – 049.35

*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**Береговой Александр Маркович**,
доктор технических наук,
профессор кафедры «Городское
строительство и архитектура»
E-mail: ambereg@rambler.ru**Береговой Виталий Александрович**,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Технологии строительных
материалов и деревообработки»
E-mail: vabereg@rambler.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**Beregovoy Aleksander Markovich**,
Doctor of Sciences,
Professor of the department «Urban
Construction and Architecture»
E-mail: ambereg@rambler.ru**Beregovoy Vitaliy Aleksandrovich**,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Technology of Building Materials
and Wood Processing»
E-mail: vabereg@rambler.ru

ПОКАЗАТЕЛИ МИКРОКЛИМАТА И ВОЗДУХООБМЕНА В ОБЪЕМНО-ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЕ МНОГОЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ЗДАНИЯ

А.М. Береговой, В.А. Береговой

Исследовано воздействие на температурно-влажностные параметры и экологическое состояние внутренней воздушной среды воздухообмена, конденсации водяного пара на поверхности наружных ограждений, инсоляции помещений многоэтажных зданий. Натурные обследования показали благоприятное влияние первых двух факторов на микроклимат в зданиях, особенно в их верхней части, из-за слабой работы системы естественной вентиляции. Проведен анализ взаимосвязи этой системы, а также инсоляции помещений с параметрами микроклимата при различном расположении квартир в объемно-планировочной структуре здания.

Ключевые слова: жилые здания, микроклимат, экология внутренней воздушной среды, естественная вентиляция, инсоляция помещений, влажностное состояние ограждений

MICROCLIMATE AND AIR EXCHANGE INDICATORS IN THE SPACE-PLANNING STRUCTURE OF A MULTI-STOREY RESIDENTIAL BUILDING

А.М. Beregovoy, V.A. Beregovoy

The influence on the temperature and humidity parameters and the ecological state of the internal air environment the air exchange, condensation of water vapor on the external enclosures surface and insolation of room in multi-storey buildings was investigated. Field surveys indicated the unfavorable influence of the first two factors on the microclimate in buildings, especially in their upper part, due to the weak operation of the natural ventilation system. The analysis of the relationship of this system, as well as the insolation of the rooms with the microclimate parameters at different locations of apartments in space-planning structure of the building has been carried out.

Keywords: residential buildings, microclimate, internal air environments ecology, natural ventilation, premises insolation, enclosure moisture condition

Действующая система нормативных расчетов параметров микроклимата и воздухообмена не учитывает в полной мере всей сложности и комплексности решения задач по созданию экологически чистой воздушной среды в различных зонах объемно-пространственной структуры многоэтажного жилого здания, а ошибки в проектиро-

вании, дефекты в строительстве, а также неграмотная эксплуатация устройств по регулированию воздушного режима и инсоляции помещений усугубляют решение этих задач.

Однако затяжной характер коронавирусной пандемии выдвигает определенные требования к микроклимату помещений с длительным пребыванием людей и выбору эффективных архитектурно-планировочных и конструктивных решений, влияющих на его формирование. Несбалансированность системы естественной вентиляции с тепловым режимом помещений, присутствие в их воздушной среде загрязняющих и токсических веществ, а также снижение функциональных свойств наружных ограждающих конструкций значительно суживают круг возможностей по проектированию так называемого «здорового» здания [1–4]. Результаты исследований отечественных и зарубежных специалистов показывают, что признаки синдрома «больного» здания («Sick house») имеют примерно 50 % эксплуатируемого массива жилых и существенная часть общественных зданий.

Как свидетельствуют данные ВОЗ, в 2012 г. количество смертей от загрязнения воздуха внутри и вне помещений составило 6,5 млн, или 11,6 % от общего числа, а в 2018 г. – 3,8 млн только по причине воздействия такого воздуха внутри помещений [1]. Многочисленные инструментальные замеры экологов по составу воздуха показывают:

- внутренний воздух помещений в среднем в 4–6 раз грязнее и в 8–10 раз токсичнее наружного;
- во внутренней воздушной среде присутствуют в разном количестве болезнетворная микрофлора (пылевые клещи, споры грибков, кишечная палочка, стафилококк, стрептококк и др.), токсические вещества (формальдегид, фенол, бензол, трихлорэтилен и др.)

В данной работе представлены результаты исследования воздействия следующих факторов на экологическое состояние и параметры микроклимата внутренней воздушной среды: воздухообмена и инсоляции помещений, процесса увлажнения внутренней поверхности ограждений конденсационной влагой.

Объектами исследования являлись многоэтажные жилые дома с теплым и холодным чердаками, а также типы квартир, по-разному расположенных в объемно-планировочной структуре многоэтажного жилого здания.

Анализ параметров микроклимата и экологического состояния воздуха (МЭВ) помещений упомянутых типов квартир был выполнен на основании результатов натурных обследований и путем использования ряда уравнений, показанных в расчетной модели микроклимата биодома [2]:

$$k_{\text{вент}} = 0,28c(L_{\text{вент}} \rho_{\text{в}}^{\text{вент}} n_{\text{вент}} (1 - k_{\text{эф}}) + G_{\text{инф}} n_{\text{инф}}) / (168V_{\text{от}}), \quad (1)$$

$$\Delta Q_{\text{вент}} = 0,28 \cdot \Delta w_{\text{вент}} \cdot \gamma_{\text{н}} \cdot c_{\text{в}} \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{н}}), \quad (2)$$

$$\Delta w_{\text{вент}} = w_{\text{вент}} - w, \quad w = \Delta P / \sum R_{\text{и}}, \quad (3)$$

где $k_{\text{вент}}$ – удельная вентиляционная характеристика здания; $\Delta Q_{\text{вент}}$ – количество тепла, уходящего на подогрев холодного вентиляционного воздуха; w и $\Delta w_{\text{вент}}$ – соответственно количество воздуха, поступающего через приточные отверстия и инфильтрующегося через пористую структуру материала наружного ограждения.

$$Z = f \{ z_{\text{ен}}(k_1, \dots, k_n), \dots, z_{\text{эс}}(k_1, \dots, k_n) \}, \quad (4)$$

где Z – экологическая составляющая обобщенного критерия K_{ui} , обеспечивающего наименьшие энергетические затраты и формирование комфортных условий микроклимата помещений; $z_{\text{ен}}$ и $z_{\text{эс}}$ – целевые функции соответственно энергетических и экологических подсистем единой энергетической и экологической системы здания; k_1, \dots, k_n – локальные критерии эффективности в виде безразмерных величин.

Для оценки состояния МЭВ при проведении натурных обследований 10-этажных жилых домов были выбраны следующие локальные критерии эффективности:

$k_{\text{воз}}$ – воздухообмен помещения; $k_{\text{инс}}$ – интенсивность и продолжительность инсоляции помещения; $k_{\text{вл}}$ – влажностное состояние внутренней поверхности наружных ограждений; $k_{\text{м}}$ – температурно-влажностные параметры микроклимата.

Натурные обследования показали, что на снижение экологической составляющей Z непосредственное влияние оказывает слабое функционирование системы естественной вентиляции в зданиях как с теплым, так и с холодным чердаком. Уменьшение требуемого воздухообмена помещений связано с целым рядом недоработок в стадиях проектирования и эксплуатации зданий: с устаревшей концепцией системы вентиляции жилых зданий, с дефектами конструкций чердаков, с ошибками в эксплуатации приточных и вытяжных отверстий в системе естественной вентиляции.

Некачественная герметизация в стадиях проектирования и строительства конструкций теплого чердака и узлов примыканий канализационных стояков к чердачной вентиляционной шахте привела не только к сильному падению воздухообмена и ухудшению экологического состояния воздуха жилых помещений, но и к появлению посторонних запахов из соседних квартир и санузлов при возникновении обратной тяги из входных отверстий вентблоков.

При проведении обследований зданий отмечены многочисленные случаи неправильной эксплуатации приточных устройств в окнах, а также установка кухонных зонтов и вентиляторов в санузлах у входа в вытяжные отверстия системы вентиляции, что блокирует воздухообмен в ниже- и вышерасположенных квартирах. Кроме того, во многих из них не обеспечена высокая герметичность притворов наружных дверей, что вызывает перетекание отработанного воздуха из помещений нижних этажей по лестничной клетке и шахте лифта в помещения верхних этажей.

В соответствии с эпюрой избыточного давления воздушный режим квартир в нижней части многоэтажного здания сформировался под влиянием процесса инфильтрации, обуславливающего приток в помещения свежего наружного воздуха. Но в верхней части здания выше нейтральной оси за счет перетока отработанного воздуха из нижних этажей слабая работа системы естественной вентиляции повлияла на упомянутые выше локальные критерии эффективности $k_{\text{воз}}$, $k_{\text{вл}}$, $k_{\text{м}}$, что оказало неблагоприятное воздействие на экологическое состояние внутренней среды этих помещений.

Инструментальные замеры показали, что максимальный воздухообмен в помещениях 1-комнатных и 2-комнатных квартир составлял при микроцелевом проветривании соответственно 40 и 35 % от нормативного значения. В обследованных домах минимальный воздухообмен отмечен в квартирах с помещениями, выходящими на одну сторону горизонта, что соответствует односторонней схеме проветривания через окна (рис. 1,а). В застойных, плохо вентилируемых зонах таких помещений накапливается больше болезнетворной микрофлоры при недостаточной инсоляции.

При расположении приточных отверстий на противоположных сторонах здания обеспечивается более активная замена отработанного воздуха по схеме сквозного проветривания (рис. 1,в). Промежуточное положение по интенсивности воздухообмена занимают квартиры с комнатами, расположенными у продольной и торцевой стен и вентилируемыми по схеме углового проветривания. В системе естественной вентиляции часть загрязненного воздуха удаляется вытяжными каналами в стенах или поэтажными вентиляционными шахтами (рис. 1,г) при условии беспрепятственного перетока воздуха через помещения квартир.

Как известно, прямые солнечные лучи в ультрафиолетовом диапазоне оказывают обеззараживающее действие на микроорганизмы в воздушной среде.

Интенсивность и продолжительность инсоляции внутреннего пространства квартиры, которая выражается критерием $k_{\text{инс}}$, зависят от степени затенения окон, географического положения здания и ориентации ее помещений (рис. 2).

Во всех домах, показанных на рис. 2, имеются 1- и 2-комнатные квартиры с малоэффективной односторонней схемой проветривания, а достаточная инсоляция возможна только при ориентации этих квартир на южную сторону горизонта.

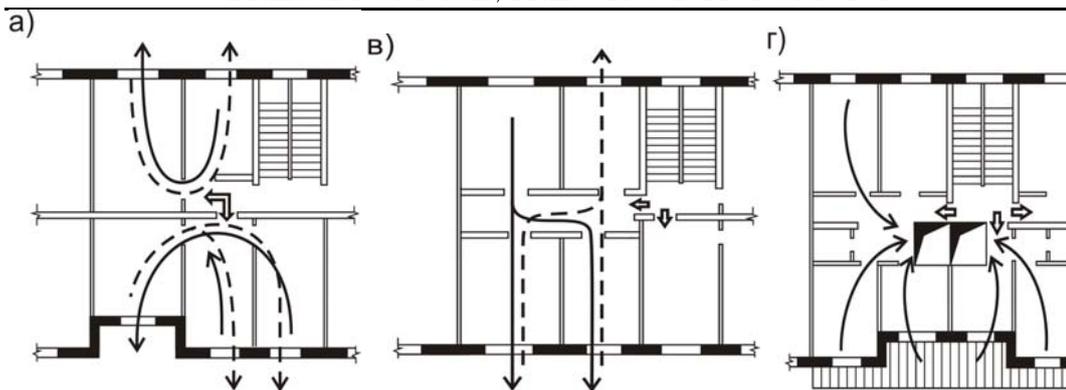


Рис. 1. Способы проветривания квартир в различных планировочных схемах:
 а – одностороннее проветривание; в – сквозное проветривание;
 г – проветривание через вентиляционные шахты

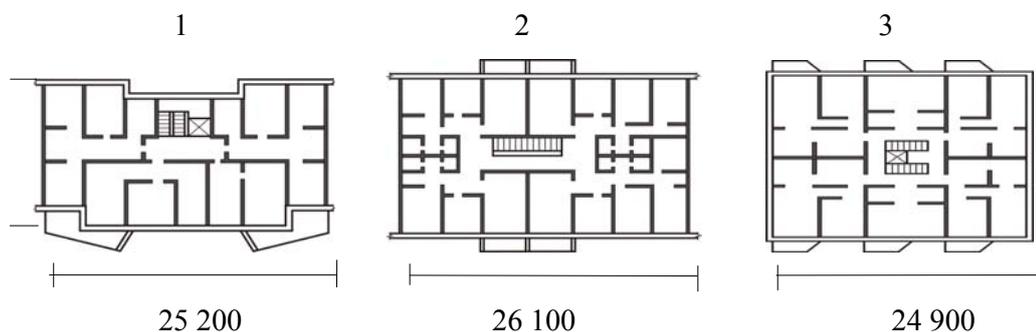


Рис. 2. Планы жилых секций с одно-, двух- и трехсторонним расположением квартир

Наиболее выгодная ориентация помещений с точки зрения совместного влияния инсоляции и воздухообмена характерна для квартир, расположенных у торцовых стен дома типа 1. Комнаты, вентилируемые по схеме сквозного проветривания, при меридиональной ориентации инсолируются попеременно, а при диагональной – инсолируются с одной стороны.

Слабофункционирующая естественная вентиляция помещений стала причиной не только ухудшения экологических параметров воздуха упомянутых помещений, но и повышения его относительной влажности, появления в отдельных квартирах на внутренней поверхности наружных ограждений влажных пятен и грибковой плесени.

Инструментальные измерения параметров микроклимата и влажностного состояния поверхности наружных однослойных стен из кирпичной кладки и керамзитобетона проводились с помощью электронных приборов: метеометра МЭС–200, термометра контактного ТК–5.03, влагомера–МГ4У. Возможность снижения температуры поверхности этих стен ниже точки росы, приводящей к выпадению конденсата, была подтверждена инженерным методом расчета падения температуры по толщине конструкции.

Анализ параметров микроклимата и экологического состояния воздуха, выполненный с использованием уравнений (1) и (2), позволил оценить количество воздуха $\Delta w_{\text{вен}}$, инфильтрующегося через пористую структуру материала наружного ограждения, в общем объеме приточного воздуха с учетом возникающего при этом энергосберегающего эффекта [5]. В холодный период года этот воздух, являющийся более теплым по сравнению с приточным, поступает к внутренней поверхности ограждения и повышает локальный критерий эффективности k_m , оценивающий микроклимат помещения.

Таким образом, по результатам натурных обследований и путем анализа локальных критериев эффективности установлено, что на воздухообмен в помещениях обследованных многоэтажных жилых зданий, достигающий в среднем 35–40 % от нормативного значения, в случае слабой вытяжки воздуха в каналах и вентшахтах

значительное влияние оказывает расположение квартир в объемно-пространственной структуре дома при сквозной, угловой или односторонней схеме проветривания.

Для последней схемы, характеризуемой сравнительно низким воздухообменом в жилых комнатах, отмечено образование застойных, плохо вентилируемых зон, что является причиной накопления болезнетворной микрофлоры. Параметры микроклимата и экологическое состояние воздуха таких помещений еще более ухудшаются при недостаточной инсоляции внутренней среды обитания.

Рекомендуется внесение изменений в процесс проектирования и реконструкции системы естественной вентиляции многоэтажных жилых зданий за счет более широкого использования инновационных разработок (приточные стеновые клапаны, гибридная вентиляция с центральным вытяжным вентилятором на жилую секцию и естественным притоком воздуха и др.).

Список литературы

1. Источники загрязнения воздуха в помещении. – URL: <http://www.dishisvobodno.ru/indoor.html> (дата обращения: 9.02.21).(access date: 9.02.21).
2. Береговой, А.М. Система естественной вентиляции. Экологические и теплоэнергетические параметры в единой энергетической системе биодома / А.М. Береговой, В.А. Береговой // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3. – С. 214–219.
3. АВОК. Стандарт. Здания жилые и общественные. Нормы воздухообмена. Переиздание АВОК. Стандарт–1–2002 с дополнениями и изменениями. НП «Инженеры по отоплению, вентиляции, кондиционированию воздуха, теплоснабжению и строительной теплофизике» (НП «АВОК»). – М., 2004. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/44/44812/>(дата обращения: 04.04.2019).
4. Гигиеническое значение микрофлоры воздуха. – URL: <http://www.my-ref.net/gigienicheskoe-znachenie-mikroflory-vozduha/>(дата обращения:25.02.15).
5. Береговой, А.М. Эффект энергосбережения в помещении с естественной вентиляцией в условиях инфильтрации воздуха через наружную стену / А.М. Береговой, А.В. Мальцев, М.А. Дерина, А.В. Гречишкин // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – №3. – С. 140–144.

References

1. Sources of indoor air pollution. URL:<http://www.dishisvobodno.ru/indoor.html> (access date: 9.02.21).
2. Beregovoy, A.M. The system of natural ventilation, ecological and heat-energy parameters in the unified energy system of a biodom / A.M. Beregovoy, V.A. Beregovoy // Regional Architecture and Engineering. – 2019. – №3. – С. 214–219.
3. AVOK. Standard. Residential and public buildings. Air exchange rates. Reprint AVOK. Standard–1–2002 with additions and changes. NP «Engineers for Heating, Ventilation, Air Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics» (NP «AVOK»). – М., 2004. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data1/44/44812/>(access date: 04/04/2019).
4. Hygienic value of air microflora. – URL: <http://www.my-ref.net/gigienicheskoe-znachenie-mikroflory-vozduha/> (access date: 25.02.15).
5. Beregovoy, A.M. The effect of energy saving in a room with natural ventilation in terms of air infiltration through exterior wall /A.M. Beregovoy, A.V. Maltsev, M.A. Derina, A.V. Grechishkin // Regional Architecture and Engineering. – 2013. – №3. – С. 140–144.

УДК 69.059.032

*ООО «Современные строительные решения»***Саденко Денис Сергеевич,**
кандидат технических наук, инженер
E-mail: sadenko_d@list.ru*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**Гарькин Игорь Николаевич,**
доцент кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: igor_garkin@mail.ru*LLC Modern Building Solutions***Sadenko Denis Sergeevich,**
Candidate of Sciences, Engineer
E-mail: sadenko_d@list.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**Garkin Igor Nikolaevich,**
Associate Professor of the department
«Quality Management and Technology
of Building Production»
E-mail: igor_garkin@mail.ru

ВНУТРЕННИЕ ДЕФЕКТЫ В БЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ: ДИАГНОСТИКА И МЕТОДИКА УСТРАНЕНИЯ

Д.С. Саденко, И.Н.Гарькин

Рассматривается инструментальная диагностика внутренних дефектов железобетонных конструкций. Производится классификация трещин по степени повреждений несущих конструкций с точки зрения ослабления сечения. Предлагаются варианты восстановления несущей способности и приведения конструкций в нормативное состояние за счет устранения опасных трещин без применения дорогостоящих материалов и выполнения ресурсоемких работ.

Ключевые слова: строительные конструкции, диагностика дефектов, трещины, радиолокационные и ультразвуковые методы неразрушающего контроля, степень повреждения, высокопрочные ремонтные смеси, методика инъектирования

INTERNAL DEFECTS IN CONCRETE CONSTRUCTIONS: DIAGNOSTICS AND METHOD OF ELIMINATION

D.S. Sadenko, I.N. Garkin

Instrumental diagnostics of internal defects of reinforced concrete structures is considered. Cracks are classified according to the degree of damage to the supporting structures in terms of section weakening. Variants of restoring the bearing capacity and bringing structures to a standard state by eliminating dangerous cracks without using expensive materials and performing resource-intensive work are proposed.

Keywords: building structures, diagnostics of defects, cracks, radar and ultrasonic methods of non-destructive testing, degree of damage, high-strength repair mixtures, injection technique

Одним из самых распространённых строительных дефектов является образование трещин в бетонных и железобетонных конструкциях зданий и сооружений.

Инструментальный и визуальный контроль позволяет установить природу возникновения трещин и динамику их развития с дальнейшей классификацией:

- деформационные, в том числе силовые и осадочные;
- температурно-усадочные;
- технологические.

Согласно действующим нормативным документам (п. 14.6.3 СП 435.1325800.2018; приложение X. СП 70.13330.2012; приложение Б ГОСТ 8829-94; п. 5.5.2 ГОСТ 13015-2012; п. 8.2.6 СП 63.13330.2012) неопасными являются трещины с шириной раскрытия

0,2–0,5 мм в зависимости от условий эксплуатации. Зачастую для определения типа и характера дефекта достаточно определить ширину раскрытия трещины, визуально установить источник возникновения и с помощью «маяков» следить за стабилизацией или развитием дефектов.

Сравнивая полученные результаты поверхностных инструментальных измерений с данными нормативной базы, в том числе срочностью сдачи объектов в эксплуатацию, дальнейшие действия можно свести к принятию следующих решений:

- либо проведение текущего ремонта, т.е. в лучшем случае расшивка и «зачеканивание» трещин цементно-песчаной штукатуркой, что, в свою очередь, очень устраивает строителей производимых работы;

- либо усиление конструкций с дефектами стальными обоймами или железобетонными рубашками, т.е. возведение дополнительных несущих элементов с последующей передачей на них нагрузки.

В настоящей работе хотелось бы заострить внимание на возможности определения не только поверхностных характеристик дефектов, установленных визуально-измерительными способами, но и, насколько это возможно, опасности трещин с точки зрения ослабления сечения, т.е. с учетом глубины их расположения.

Для этого были выбраны конструкции стен фундаментов, выполненных из бетонных неармированных блоков (ФБС). Отсутствие стальных элементов в теле конструкций немаловажно, т.к. при инструментальных измерениях снижается до минимума погрешность приборов. Данные конструкции были выбраны вследствие того, что из-за долгого нахождения здания на стадии незавершенного строительства (в открытом, незаконсервированном виде) произошли изменения физико-механических свойств материалов, таких, как частичное снижение прочности и морозостойкости. Вследствие этого сезонные колебания температурно-влажностных условий и изначально низкие характеристики прочности, морозостойкости и водонепроницаемости бетона привели к многочисленным раскрытиям трещин.

Согласно стандартным методикам были проведены работы по определению параметров данных дефектов (ширина и глубина), а также динамике их развития. С помощью визуально-измерительного инструмента были выбраны 3 типа трещин: с шириной раскрытия 1,5 мм; 2 мм; 3,5 мм. Дефекты располагались по обеим сторонам конструкции фундаментных блоков. С помощью угловой шлифовальной машины производились вскрытия поперечно ходу трещин.

В результате вскрытия были определены глубины расположения отобранных дефектов (рис. 1):

- для трещины с шириной раскрытия 1,5 мм глубина составила 7,7 см;
- для трещины с шириной раскрытия 2 мм глубина составила 8,1 см;
- для трещины с шириной раскрытия 3 мм глубина составила 8,7 см.



Рис. 1. Глубина и расположение наиболее раскрытых трещин

Т.е. с учетом ширины фундаментного блока 500 мм целым (бездефектным) осталось сечение шириной 326 мм, что в процентном соотношении составляет 65 %. Также было установлено раскрытие трещин в виде паутины на поверхности бетона на большой площади с глубиной не более 0,3–0,6 мм. Данные конструкции выполняют несущую функцию, и приведение их в нормативное состояние возможно лишь при выполнении дорогостоящих и ресурсоемких работ по усилению. Поэтому в связи с

тем, что данных типовых дефектов в текущем техническом состоянии конструкции достаточно большое количество и нет возможности вскрытия всех трещин для определения степени их опасности, было принято решение воспользоваться методами неразрушающего контроля.

Современные методы диагностики в совокупности с проводимым анализом возникновения дефектов с точки зрения конструктивных особенностей и напряженно-деформированного состояния конструкций позволяют дать более полную картину технического состояния несущих элементов. Для оценки степени опасности дефектов не по поверхностным характеристикам, а по глубине их расположения использовалось оборудование, основанное на двух принципах работы: радиолокационном и ультразвуковом методах. В результате проведенных измерений и анализа полученных данных были установлены необходимые характеристики дефектов, в частности, глубины наиболее опасных трещин (рис. 2). Что характерно, при проведении инструментальных исследований показания приборов не отличались друг от друга, т.е. характеристики дефектов по глубине расположения совпадали.



Рис. 2. Определение параметров дефекта в виде трещины:
а – штангенциркулем; б – прибором BoschWallScanner D-tect 150;
в – ультразвуковым тестером UK1401

В связи с тем, что в основной массе глубина трещин составила не более 1,5–2 см (и лишь 10 % из них оказались наиболее опасными) и была установлена целостность «маячков» (наблюдение осуществлялось в течение полугода, в осенне-весенний период), было предложено провести ремонтные работы. Основная задача по ремонту данных конструкций состояла в том, чтобы заполнить все пустоты в наиболее опасных трещинах. Поэтому в качестве основного материала были подобраны высокодисперсные реологически-активные составы со следующими характеристиками:

- прочность при сжатии, МПа (1 сутки / 28 суток) – 20 / 60 МПа;
- подвижность (Рк), мм – >150 мм;
- деформации при твердении, % – +0,02 мм;
- наибольшая крупность зерен заполнителя, мм – 0,14.

Ремонт производился в последовательности:

- герметичный монтаж деревянной опалубки с установкой «пакеров» (трубки для инъектирования микроцементного ремонтного состава);
- вымывание через пакеры мелких частиц бетона водой под давлением 2 атм;
- монтаж оборудования с последующей закачкой ремонтного состава под давлением 8 атм;
- снятие опалубки после набора прочности 180–200 кгс/см², что соответствует 30 % проектной прочности состава;
- визуально-инструментальный осмотр на наличие незаполненных ремонтным составом участков с применением ультразвукового прибора.

Результаты исследования и устранения дефектов:

1. Проведение работ по диагностике внутренних дефектов в бетонных конструкциях является обязательным. В эти работы следует включать не только данные поверхностных измерений и наблюдений, но и данные по оценке степени развития дефектов в глубину конструкций.

2. Указаны и отобраны наиболее критические дефекты, подлежащие инъектированию высокодисперсными реологически-активными составами. В отношении оставшихся трещин были предложены стандартные методики ремонта.

3. Восстановление и приведение конструкций в нормативное техническое состояние на основе полученных инструментальных данных не потребовало проведения дорогостоящих и ресурсоемких работ.

Список литературы

1. Саденко, Д.С. Причины дефектов при производстве монолитных железобетонных конструкций, связанных с коррозией бетона / Д.С. Саденко, И.Н. Гарькин // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 4 (45). – С. 105–109.

2. Калашников, В.И. Влияние вида супер-игиперпластификаторов на реотехнологические свойства цементно-минеральных суспензий, порошковых бетонных смесей и прочностные свойства бетонов / В.И. Калашников, Е.В. Гуляева, Д.М. Валиев // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2012. – № 11. – С. 40.

3. Калашников, В.И. Новые представления о механизме действия суперпластификаторов, совместно размолотых с цементом или минеральными породами / В.И. Калашников, М.Н. Мороз, О.В. Тараканов, Д.В. Калашников, О.В. Суздальцев // Строительные материалы. – 2014. – № 9. – С. 70.

4. Гарькин, И.Н. Деформативно-прочностные свойства монолитных железобетонных перекрытий / И.Н. Гарькин, Д.С. Саденко // Региональная архитектура и строительство. – 2020. – № 1 (42). – С. 126–129.

5. Гарькина, И.А. Из опыта разработки материалов специального назначения / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, В.О. Петренко // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – С. 235.

6. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Seylaev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 11. – P. 2461–2464.

7. Garkina, I. Tasks of building materials from the viewpoint of control theory / I. Garkina, A. Danilov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 737. – P. 578–582.

8. Логанина, В.И. Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности строительной продукции: монография / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза, 2014.

References

1. Sadenko, D.S. Causes of defects in the production of monolithic reinforced concrete structures associated with concrete corrosion / D.S. Sadenko, I.N. Garkin // Regional architecture and engineering. – 2020. – No. 4 (45). – P. 105–109.

2. Kalashnikov, V.I. Influence of the type of super-hyperplasticizers on rheotechnological properties of cement-mineral suspensions, powder concrete mixtures and strength properties of concretes / V.I. Kalashnikov, E.V. Gulyaeva, D.M. Valiev // Izvestiya vysshikh uchebnykh zavod. Building. – 2012. – No. 11. – P. 40.

3. Kalashnikov, V.I. New ideas about the mechanism of action of superplasticizers jointly ground with cement or mineral rocks / V.I. Kalashnikov, M.N. Moroz, O.V. Tarakanov, D.V. Kalashnikov, O.V. Suzdaltsev // Building materials. – 2014. – No. 9. – P. 70.

4. Garkin, I.N. Deformative and strength properties of monolithic reinforced concrete slabs / I.N. Garkin, D.S. Sadenko // Regional architecture and engineering. – 2020. – No. 1 (42). – P. 126–129.

5. Garkina, I.A. From experience in the development of special-purpose materials / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.O. Petrenko // Modern problems of science and education. – 2014. – No. 5. – P. 235.

6. Garkina, I.A. Materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, V.P. Se-lyayev // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2016. – Vol. 11, № 11.– P. 2461–2464.
7. Garkina, I. Tasks of building materials from the viewpoint of control theory / I. Garkina, A. Danilov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 737. – P. 578–582.
8. Loganina, V.I. Quality assurance and increasing the competitiveness of construction products: monograph / V.I. Loganina, L.V. Makarova, R.V. Tarasov. – Penza, 2014.

УДК 006.91:005

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

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

Макарова Людмила Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Тарасов Роман Викторович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Управление качеством
и технология строительного производства»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Баукова Наталья Сергеевна,
магистрант
E-mail: rabota-penza89@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Makarova Ludmila Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Management of Quality and
Technology of Construction Production»
E-mail: Mak.78_08@inbox.ru

Tarasov Roman Viktorovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Management of Quality and
Technology of Construction Production»
E-mail: rwtarasow@rambler.ru

Baukova Natalya Sergeevna,
Undergraduate
E-mail: rabota-penza89@mail.ru

ОЦЕНКА ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССА «УПРАВЛЕНИЕ СРЕДСТВАМИ ИЗМЕРЕНИЙ», РЕАЛИЗУЕМОГО ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ НЕФТЕГАЗОВОЙ, МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ И НЕФТЕХИМИЧЕСКОЙ ОТРАСЛЕЙ

Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов, Н.С. Баукова

Эффективным инструментом управления конкурентоспособностью предприятия является разработка и внедрение систем управления качеством. Такого рода системы ориентированы на постоянное совершенствование деятельности предприятия, направленное на создание высококачественной продукции, максимально удовлетворяющей запросы потребителя. Управление процессами, составляющими основу системы управления качеством, требует регулярной оценки их эффективности.

На примере конкретной организации, которая разрабатывает и выпускает оборудование для нефтегазодобывающей и нефтегазоперерабатывающей промышленности, рассмотрены и выделены этапы уровней процессной зрелости и критерии перехода с одного уровня на другой. Приведен пример оценки зрелости процесса «управление средствами измерений», реализуемого при изготовлении металлических конструкций, применяемых в нефтегазовой, металлургической и нефтехимической отраслях.

Ключевые слова: бизнес-процесс, управление бизнес-процессами; зрелость процесса, оценка зрелости процесса

ASSESSMENT OF PROCESS MATURITY «MEASURING INSTRUMENTS CONTROL» IMPLEMENTED IN THE MANUFACTURE OF METAL STRUCTURES FOR OIL AND GAS, METALLURGICAL AND PETROCHEMICAL INDUSTRIES

L.V. Makarova, R.V. Tarasov, N.S. Baukova

The development and implementation of quality management systems is an effective tool for managing enterprise competitiveness. Such systems are aimed at constantly improving the activities of the enterprise, aimed at creating high-quality products that maximally meet the needs of the

consumer. The management of the processes that form the basis of the quality management system requires a regular evaluation of their effectiveness.

In the work, on the example of a specific organization that develops and produces equipment for the oil and gas producing and oil and gas processing industries, stages of process maturity levels and criteria for transition from one level to another were considered and highlighted. An evaluation of the maturity of the process «Control of measuring means» implemented in the manufacture of metal structures used in the oil and gas, metallurgical and petrochemical industries is given.

Keywords: business process, business process management; process maturity, process maturity assessment.

Процессный подход является основополагающей базой современных подходов к управлению. Именно он положен в основу построения системы менеджмента качества (СМК) организации с момента принятия стандартов ИСО 9000 версии 2000 года.

Любую организацию можно представить в виде совокупности бизнес-процессов производственного и непроизводственного характера.

Одним из способов повышения результативности и эффективности деятельности любой организации является рассмотрение ее деятельности с точки зрения уровней зрелости [1, 2]. Оценка состояния развития процессов организации позволяет зафиксировать ее текущий уровень развития с целью последующих сравнений и выявить разрывы между текущим и желаемым состоянием процессов, а также оценить их эффективность с точки зрения бизнеса, в том числе оценить способность управлять процессами [3...5].

Для оценки перехода на следующий уровень зрелости контролируемых процессов организации необходимо разработать и внедрить процедуру проведения оценки зрелости процессов СМК и результативности выполнения программ качества подразделений.

Существуют разные формальные модели зрелости процесса. Общее количество моделей, разработанных на данный момент, варьируется. К получившим мировую известность моделям процессной зрелости относят: модель СММІ; модель SPICE; ВРММ; модель Gartner; модель Forrester [6]. Большинство самых распространенных моделей процессной зрелости выделяет 5 или 6 уровней процессной зрелости.

В рамках данной статьи выделены следующие уровни зрелости процесса:

- начальный уровень;
- понятный (выполняемый) уровень;
- результативный (управляемый) уровень;
- эффективный (устоявшийся) уровень;
- бездефектный (высокоэффективный);
- процесс мирового класса (совершенный).

С точки зрения философии переход с одного уровня процессной зрелости на другой можно сравнить с диалектическим развитием по спирали.

Характеристика уровня зрелости процессов приведена в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристика уровня зрелости процессов

Номер уровня зрелости процесса	Наименование уровня зрелости процесса	Характеристика уровня зрелости процесса	Оценочные баллы
1	2	3	4
6	Начальный уровень	Процесс работает, но по требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 не определен и не описан	От 37 до 40 включительно
5	Понятный (выполняемый) уровень	Работает согласно требованиям документов и достигает определенных результатов	От 31 до 36

1	2	3	4
4	Результативный (управляемый) уровень	Выполняемый процесс, который работает под управлением владельца процесса, т.е. поддерживается управленческий цикл: процесс планируется, отслеживается, анализируется и корректируется	От 26 до 30
3	Эффективный (устоявшийся) уровень	Управляемый процесс, который подтверждает свою результативность и эффективность	От 20 до 25
2	Бездефектный (высокоэффективный)	Устоявшийся процесс, эффективность и результативность которого подтверждается во времени	От 14 до 19
1	Процесс мирового класса (совершенный)	Процесс является лучшим в своем «классе» и продолжает улучшаться. Это высокоэффективный процесс, который способен улучшаться, чтобы эффективно отвечать текущим и будущим бизнес-целям организации	От 8 до 13

Уровень зрелости оцениваемого процесса определяется суммой оценок, поставленных за каждую из восьми характеристик, принадлежащих процессу, а именно оценок:

- показателей, связанных с потребителем, – X_1 ;
- показателей результативности и эффективности процесса – X_2 ;
- показателей сотрудничества с поставщиками – X_3 ;
- документированности процесса – X_4 ;
- обучения персонала – X_5 ;
- по бенчмаркингу – X_6 ;
- по адаптируемости процесса – X_7 ;
- непрерывного улучшения – X_8 .

Рассмотрим пример оценки уровня зрелости процесса «Управление средствами измерений» за 2020 год (табл. 2).

Оценка проводилась путем опроса команды процесса «Управление средствами измерений». В некоторых случаях предъявлялись документальные подтверждения соответствия критериев для уровня процессной зрелости.

Т а б л и ц а 2

Оценка процесса зрелости «Управление средствами измерений»

Оценочный балл	Требования	Фактическое состояние	Мероприятия (примечание)
1	2	3	4
X1. Измерения, связанные с потребителем			
5	Требования потребителя известны и имеют документальное подтверждение	Требования потребителя известны и имеют документальное подтверждение (утвержденный перечень СИ ОАО «Пензхиммаш», утвержденные графики поверки СИ, утвержденный перечень СИ в сфере ГРОЕИ)	-

1	2	3	4
	Система обратной связи с потребителем установлена (анкеты, запросы, совместные совещания, переписка и др.) Осуществляется отслеживание выполнения требований потребителя.	Система обратной связи с потребителем установлена (анкеты, запросы, совместные совещания, переписка и др.) Осуществляется отслеживание выполнения требований потребителя (ведется компьютерный перечень СИ)	
4	Текущие требования потребителя выполнены Ожидания (будущие требования) потребителя установлены и задокументированы	Текущие требования потребителя выполнены Ожидания (будущие требования) потребителя установлены (ежегодные утвержденные графики поверки/калибровки СИ, аттестации ИО)	Плюс выполнение требований по уровню 5
3	Ожидания (будущие требования) потребителя выполнены Результаты процесса проанализированы, командой процесса выявлены проблемы (узкие места) данного процесса, намечены мероприятия по их решению	Третий уровень достигнут еще в 2005 году, ожидания потребителя выполняются Процесс анализируется, основные мероприятия по решению выявляемых проблем определяются в корректирующих действиях	Плюс выполнение требований по уровню 4
2	Результативность процесса в течение последних 6 месяцев не снижалась ниже ожиданий заказчика Анализ тенденций показывает непрерывное улучшение Потребитель регулярно участвует в подведении итогов по результативности процесса Желания потребителя понятны Определен процесс мирового класса	Результативность процесса за 2020 год снижена (на 2,5 %) относительно 2019 г. Статистический анализ показывает стабильность процесса, но не во всех подразделениях Подразделения регулярно участвуют в подведении итогов по результативности процесса управления СИ Желания потребителя известны и понятны Определен эталонный уровень по данному вопросу, к которому надо стремиться	Плюс выполнение требований по уровню 3 Выяснение причин низкого предъявления СИ или несвоевременности предоставления СИ на поверку и калибровку
X2. Измерение результативности и эффективности процесса			
5	Показатели результативности и эффективности измеряются и регистрируются Обязательства по показателям результативности и эффективности установлены;	Показатели результативности и эффективности измеряются и регистрируются (ежеквартальный анализ процесса управления СИ) Обязательства по показателям результативности и эффективности установлены (таблицы данных по критериям процесса)	-

1	2	3	4
	Выявлены «узкие места» процесса	Выявлены «узкие места» процесса (Протокол анализа процесса)	
4	<p>Запланированные уровни показателей результативности и эффективности достигаются</p> <p>Показатели потерь от низкого качества установлены</p> <p>Некоторые внутренние показатели измерения эффективности установлены (контрольные точки процесса, относящиеся к эффективности) и регистрируются</p> <p>Отсутствуют существенные отклонения во времени показателей результативности и эффективности процесса (характеристика стабильности)</p> <p>Выполняются требования к управлению процессом по циклу Деминга (PDCA) «планируй – выполняй – контролируй – корректируй»</p>	<p>Запланированные уровни показателей результативности и эффективности достигаются</p> <p>Показатели потерь от низкого качества установлены</p> <p>Некоторые внутренние показатели измерения эффективности установлены (контрольные точки процесса, относящиеся к эффективности) и регистрируются (ежеквартально регистрируются данные по критерию эффективности)</p> <p>Отсутствуют существенные отклонения во времени показателей результативности и эффективности процесса (характеристика стабильности)</p> <p>Требования к управлению процессом по циклу Деминга (PDCA) выполняются.</p>	<p>Плюс выполнение требований по уровню 5</p>
3	<p>Достигнуто снижение потерь от низкого качества</p> <p>Показатели внутренней результативности и эффективности регистрируются и анализируются с точки зрения влияния на процесс</p> <p>Имеются свидетельства сокращения цикла выполнения работ по процессу</p> <p>Имеются свидетельства устойчивой тенденции выполнения установленных уровней результативности и эффективности процесса</p> <p>Большинство измерений имеют тенденцию улучшения</p> <p>Ключевые точки управления процессом идентифицированы</p> <p>Результаты процесса понятны и реализованы</p>	<p>Стоимость низкого качества установлена (2 критерий).</p> <p>Показатели внутренней результативности на процесс (критерии подпроцессов) регистрируются и анализируются</p> <p>Определен и согласован механизм обратной связи с цехами и с владельцами подпроцессов, что сократило цикл выполнения работ по процессу в целом</p> <p>Уровень результативности и эффективности всего процесса достигается в течение нескольких лет</p> <p>Критерии процесса и большинства подпроцессов имеют устойчивый характер</p> <p>Ключевые точки управления процессом определены</p> <p>Результаты понятны и реализованы</p>	<p>Плюс выполнение требований по уровню 4</p>

1	2	3	4
2	Все показатели процесса имеют тенденцию улучшения	Показатели процесса за 2020 год не изменились, за исключением критерия управления	Плюс выполнение требований по уровню 3 Контроль за своевременным предъявлением СИ на поверку и калибровку
	Определены эталон, его выходные параметры Карты контроля процесса реализованы, и процесс находится в статистически управляемом состоянии	Процесс находится в статистически управляемом состоянии	
	Имеются измеримые улучшения внутри процесса	Имеются измеримые улучшения внутри процесса (критерии подпроцессов)	
	Проблемы в процессе не ожидаются	Проблемы в процессе возможны и ожидаются	
	Ошибок в процессе нет	Серьезных ошибок в процессе не было. При обнаружении недостатков и изменении внешних факторов вносятся коррективы	
	План независимого контроля выполняется	План контроля со стороны внутренних и внешних аудиторов выполняется	
Х3. Сотрудничество с поставщиками			
5	Все поставщики идентифицированы	Все поставщики идентифицированы	-
4	С поставщиками, критически влияющими на качество, проведены встречи (рабочие совещания, «День качества» и т.д.), где согласованы и зарегистрированы требования Система обратной связи с критическими поставщиками установлена	4 уровень достигнут, с критическими поставщиками проведены встречи, установлена система обратной связи	Плюс выполнение требований по уровню 5
3	Со всеми поставщиками проведены встречи, согласованы и зарегистрированы требования Все критические поставщики выполняют согласованные требования	Требования с поставщиками согласованы и зарегистрированы Основные поставщики выполняют согласованные требования, которые влияют на окончательный результат процесса	Плюс выполнение требований по уровню 4
2	Все поставщики выполняют согласованные требования в течение последних трех месяцев	В 2020 г. серьезных проблем с поставщиками не возникло Число непредъявленных СИ на метрологический контроль в метрологическую группу УК (ГМетр) увеличилось (на 5 %)	Плюс выполнение требований по уровню 3

1	2	3	4
	Очередные встречи с поставщиками проведены и решены вопросы гарантии, заключающиеся в том, что поставщики понимают изменяющиеся требования и ожидания процесса	Взаимодействие с поставщиками постоянно. Но вопросы гарантии не решены	Улучшить взаимодействие с поставщиками
Х4. Уровень документированности			
5	Процесс определен, разработан документ на процесс (паспорт, техпроцесс, карта на процесс)	Процесс определен, разработаны документы на процесс (паспорт на процесс 04ПП-04-ОГМетр, 21МОК-7.1.5 – ГМетр, 20 МОК 7.1.5 ГМетр, 75 МОК 7.1.5 ГМетр, 62МОК-7.6-ОГМетр и др.)	-
	Точность процесса проверена на образцах (контрольные образцы по процессу)	Точность процесса проверена на образцах (контрольные образцы по процессу)	
	Документация на образцы имеется	Документация на образцы имеется	
	Назначены владельцы процесса и члены команды	Назначены владелец процесса и члены команды	
	Цели команды процесса по улучшению определены	Цели команды процесса по улучшению определены	
	Границы процесса определены	Границы процесса определены	
4	Построена блок-схема процесса Имеется описание процесса Построена полная диаграмма процесса	Все требования выполняемы и отражены в паспорте процесса «Управление СИ»	Плюс выполнение требований по уровню 5
3	Подпроцессы выделены; Основные и дополнительные профтребования для персонала процесса установлены, программы обучения имеются	Подпроцессы выделены. Основные и дополнительные профтребования для персонала процесса установлены в документации и в должностных инструкциях, программы обучения имеются	Плюс выполнение требований по уровню 4
	Порядок обмена информацией (документацией) по процессу установлен Персонал понимает описание своих задач	Порядок обмена информацией (документацией) по процессу установлен Персонал понимает описание своих задач	
2	Порядок управления изменениями в документации установлен	2-й уровень был достигнут ещё в 2005 году Порядок управления изменениями в документации установлен	Плюс выполнение требований по уровню 3
	Документы систематически актуализируются	Документы систематически актуализируются	

1	2	3	4	
1	Все документы соответствуют требованиям стандартов мирового класса	Процесс мирового класса на данный момент недостижим	Плюс выполнение требований по уровню 2	
X5. Обучение				
5	Команда процесса обучена методологии, методам и инструментам улучшения процессов, функциям выполняемого процесса	Команда процесса обучена методологии, методам и инструментам улучшения процессов, функциям выполняемого процесса;		
	Потребности в обучении персонала выявлены и зарегистрированы	Потребности в обучении персонала выявлены и зарегистрированы (заявки на обучение персонала поданы инженеру по подготовке кадров)		
	Ресурсы, необходимые для обучения персонала, выделены	Ресурсы выделяются по мере необходимости обучения		
4	Процедуры обучения, в соответствии с выявленными потребностями, разработаны для всех критических действий процесса	Процедуры обучения, в соответствии с выявленными потребностями, разработаны для всех критических действий процесса	Плюс выполнение требований по уровню 5	
	Люди, назначенные инструкторами по обучению, и члены команды процесса обучены статистическим методам управления процессами	Люди, назначенные инструкторами по обучению, и члены команды процесса обучены статистическим методам управления процессами		
3	Все люди, выполняющие критические задания, обучены в соответствии с процедурами обучения	Работники, выполняющие критические задания, обучены	Плюс выполнение требований по уровню 4	
	Процедуры обучения разработаны для всех действий процесса	Процедуры обучения определены для всех действий процесса		
	Планы обучения персонала, в т.ч. членов команды процесса, в части методов решения проблем имеются	Предложения для включения в план обучения сотрудников ГМетр на 2021 год в кадровую службу представлены		Контролировать выполнение плана обучения, намеченного на 2021 год
	Весь персонал по всем операциям процесса проходит обучение	В соответствии с планом обучения ОАО «Пензхиммаш» весь персонал обучается		
	Члены команды используют в улучшении процесса один или более метод анализа	Члены команды обучены нескольким методам анализа и используют их при работе		
2	Весь персонал, задействованный в процессе, обучен. Запланировано дальнейшее повышение его квалификации	Персонал обучен, постоянно повышает свою квалификацию	Плюс выполнение требований по уровню 3	

1	2	3	4
	Персонал положительно оценивает процесс его обучения	Персонал проявляет готовность к процессу обучения	Проводить регулярные встречи членов команды для коллективного обсуждения проблем
	Обучение групповым методам решения проблем закончено, команда процесса регулярно собирается и решает проблемы	Обучение групповым методам решения проблем с новыми членами команды не закончено. Команда собирается нерегулярно	
Х6. Бенчмаркинг			
5	Не востребован		-
4	Существует план выявления эталонного уровня заказчика	Решено определять эталонный уровень процесса на данном этапе теоретическим путем	-
3	Определен эталонный уровень требований	Заданы характеристики по каждому из восьми показателей	Плюс выполнение требований по уровню 4) Разработанный эталонный уровень процесса актуален. Необходимо стремиться к его достижению
	Имеется план определения эталонного уровня критических действий процесса	На данном этапе эталонный уровень критических действий процесса детально не рассматривался	
	Существует план определения эталонного уровня процесса	При дальнейшем развитии процесса необходимо будет разработать дополнительный план определения эталонного уровня, приближающегося к мировому	
Х7. Адаптируемость			
5	Не востребован		-
4	Собраны данные, свидетельствующие о наличии проблем, связанных с недостаточной адаптируемостью процесса	Данных, свидетельствующих о наличии проблем, связанных с недостаточной адаптируемостью процесса, не имеется	-
3	Персонал обучен в отношении порядка принятия решений в случаях необходимости выполнения спец. требований потребителя	Персонал обучен и мобильно перестраивается на выполнение специальных задач	Плюс выполнение требований по уровню 4
	Необходимость в изменении процесса планируется	С возникновением новых требований и задач постоянно планируется изменение процесса	
	Установлена результативная система выявления жалоб внутренних и внешних потребителей	Определена и внедрена система выявления жалоб потребителей	

1	2	3	4
	Установлена связь с потребителем, позволяющая выяснить его требования для дальнейшего планирования изменений процесса	Связь с потребителем установлена постоянно	
2	Персонал уполномочен давать ответы на срочные вопросы потребителя и оценивается по ним	Персонал уполномочен давать ответы на срочные вопросы потребителя	Плюс выполнение требований по уровню 3 Решение его невозможно на уровне только рассматриваемого процесса
	Ресурсы на удовлетворение будущих требований потребителя выявлены и выделены	Ресурсы на удовлетворение только краткосрочных будущих требований потребителя выявлены, но остаются проблемы в выделении средств на модернизацию	
	Жалобы на неоперативность реакции со стороны команды процесса на запросы потребителя существенно сокращены	Жалоб на неоперативность реакции со стороны команды процесса на запросы потребителя не поступало	
Х8. Непрерывное улучшение			
5	Основы улучшения процессов, изложенные в паспорте 06ПП 04 ГУК, изучены Главные направления улучшений идентифицированы, планы улучшений намечены Мероприятия по улучшению процесса для перехода его на уровень 4 разработаны и обеспечены ресурсами	5 уровень достигнут, основы улучшения процессов изучены, план дальнейшего улучшения процесса намечен	-
4	Узкие места в действиях и управлении процессом оценены и намечен план по улучшению	Узкие места определены. Проводится оценка рисков процесса	Плюс выполнение требований по уровню 5
	Мероприятия по улучшению процесса для его перехода на 3 уровень разработаны и обеспечены ресурсами	Намечены мероприятия в Программу на 2021 год для укрепления позиций процесса на 3 уровне зрелости	
	Принята философия: «Люди делают ошибки, и надо находить и устранять причины ошибок»	Данная философия принята, при обнаружении несоответствия осуществляется поиск его причин	
3	Разработаны мероприятия по переходу процесса на уровень 2 с обеспечением работ необходимыми ресурсами. Главная направленность мероприятий – переход к новой философии процесса, заключающейся в предупреждении ошибок	Процесс сохранил позиции на 3 уровне. На 2021 год стоит задача не утратить результативность и эффективность процесса в связи с реструктуризацией управления качеством, найти внутренние резервы для удержания позиций	Плюс выполнение требований по уровню 4 Наметить мероприятия для укрепления процесса на 3 уровне и внести их в Программу качества УК(ГМетр) на 2021 год

После оценки каждой из восьми характеристик процесса «Управление средствами измерений» построена диаграмма, дающая визуальное представление об оценках по всем характеристикам процесса.

Диаграмма оценки зрелости процесса «Управление средствами измерений» показана на рис. 2.

					4		4
3	3	3		3		3	
			2				
X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8

Рис. 2. Диаграмма оценки зрелости процесса «Управление средствами измерений»

Оценка зрелости процесса (в баллах) определяется по формуле

$$\text{ОЗП} = \sum_{i=1}^8 X_i,$$

где ОЗП – оценка зрелости процесса в баллах; X_i – оценка за составляющую характеристику.

Сумма баллов, характеризующая зрелость процесса «Управление средствами измерений», равна 25.

В результате определения уровня соответствия критериям командой процесса была получена оценка, анализ которой позволил заключить, что процесс «Управление средствами измерений» соответствует третьему уровню процессной зрелости, т.е. процесс управления средствами измерений является эффективным, устойчивым. За отчетный период (год) не произошло ухудшения ни одной из восьми характеристик. Намечены мероприятия в Программу качества на 2021 год для укрепления позиций процесса на третьем уровне зрелости.

Таким образом, в вышеприведенном примере результат оценки зрелости процесса указывает на необходимость сконцентрировать внимание команды процесса в первую очередь на характеристиках, связанных с непрерывным улучшением, а также бенчмаркингом.

Итоги оценки зрелости процессов и результативности выполнения программы качества подлежат рассмотрению на Дне качества при подведении итогов за отчетный период.

Предлагаемая методика не может рассматриваться как всеобъемлющая, она содержит минимальный набор действий и инструментов для оценки зрелости процессов, не исключает применения других, может быть интегрирована в любую систему менеджмента организации и использоваться параллельно с другими методиками оценки.

Список литературы

1. Коптелов, А.К. Зрелость бизнеса, или Как «вырастить» бизнес-процесс? / А.К. Коптелов. – URL: <http://koptelov.info/publikatsii/zrelost-biznes-protsess/>.
2. Карамышев, А.Н. Оценка зрелости системы процессного управления промышленным предприятием / А.Н. Карамышев // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. Сер.: Экономика и управление. – 2017. – №9. – С.202–206.
3. Харрингтон, Дж. Совершенство управления знаниями: искусство совершенствования управления знаниями / Дж. Харрингтон // Стандарты и качество. – 2006.
4. Репин, В.В. Оценка зрелости системы управления бизнес-процессами компании / В.В. Репин. – URL: http://www.finexpert.ru/view/otsenka_zrelosti_sistemy_upravleniya_biznes_protssami_kompanii/961.

5. Карамышев, А.Н. Анализ процессной методологии управления «Бережливое производство» / А.Н. Карамышев [и др.] // Вестник БГТУК им. В.Г. Шухова. – 2017. – №3. – С.148–150.

6. Лыкова, А.И. Сравнительный анализ моделей процессной зрелости / А.И. Лыкова // Вектор науки ТГУ. Серия: Экономика и управление. – 2017. – № 3 (30). – С.69–75.

References

1. Koptelov, A.K. Business maturity or how to “grow” a business process? / A.K. Koptelov. – URL: <http://koptelov.info/publikatsii/zrelost-biznes-protsess/>.

2. Karamyshev, A.N. Assessment of the maturity of the process management system of an industrial enterprise / A.N. Karamyshev // Vector of Science of Tolyatti State University. series: economics and management. – 2017. – № 9. – P.202–206.

3. Harrington J. Excellence in knowledge management: the art of improving knowledge management / J. Harrington // Standards and quality. – 2006. – 269 p.

4. Repin, V.V. Assessment of the maturity of the company's business process management system / V.V. Repin. – URL: http://www.finexpert.ru/view/otsenka_zrelosti_sistemy_upravleniya_biznes_protssami_kompanii/961.

5. Karamyshev, A.N. Analysis of the process management methodology «Lean production» / A.N. Karamyshev [et al.] // Bulletin of BGTUK im. V.G. Shukhov. – 2017. – № 3. – P.148–150.

6. Lykova, A.I. Comparative analysis of process maturity models / A.I. Lykova // Vector of Science TSU. Series: Economics and Management. – 2017. – №3 (30). – P.69–75.

УДК 624.012

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,
зав. кафедрой «Начертательная геометрия
и графика»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

Корнюхин Анатолий Владимирович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Строительные конструкции»
E-mail kornuhin@mail.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Snezhkina Olga Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor,
Head of the Department «Descriptive
Geometry and Graphics»
E-mail: o.v.snejkina@yandex.ru

Kornyukhin Anatoly Vladimirovich,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Building Structures»
E-mail: kornuhin@mail.ru

СРАВНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ПРОЧНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК НА ДЕЙСТВИЕ ПОПЕРЕЧНЫХ СИЛ

О.В. Снежкина, А.В. Корнюхин

Дается сравнительный анализ методов расчета прочности железобетонных балок без поперечного армирования по своду правил (СП 6313330.2018) и Еврокоду (ТКП EN 1992-1-1-2009) в зоне действия поперечных сил при изменении относительного пролета среза a/h_0 от 1 до 3 по экспериментальным данным.

Ключевые слова: железобетонные балки, прочность, наклонное сечение, относительный пролет среза

COMPARISON OF METHODS FOR CALCULATING THE STRENGTH OF REINFORCED CONCRETE BEAMS ON THE ACTION OF LATERAL FORCES

O.V. Snezhkina, A.V. Kornyukhin

A comparative analysis of methods for calculating the strength of reinforced concrete beams without transverse reinforcement according to the Code of Rules (SP 6313330.2018) and Eurocode (TKP EN 1992-1-1-2009) in the zone of action of transverse forces when the relative shear span a/h_0 changes from 1 to 3 according to experimental data.

Keywords: reinforced concrete beams, strength, inclined section, relative span shear

Существующие расчетные модели определения прочности наклонных сечений изгибаемых железобетонных элементов из-за сложного напряженно-деформированного состояния имеют существенные расхождения с фактическим характером работы конструкций [1–4]. Наибольшие расхождения между экспериментальными и расчетными значениями прослеживаются в железобетонных балках с относительным пролетом среза (a/h_0) от 1 до 3 [5–8].

Согласно отечественному своду правил (СП 6313330.2018) расчет по прочности изгибаемых железобетонных элементов при действии поперечных сил проводят на основе модели наклонных сечений по полосе между наклонными сечениями и наклонному сечению на действие поперечных сил, по наклонному сечению на действие моментов. Расчетные зависимости СП 6313330.2018 учитывают такие факторы, как: расчетное сопротивление бетона сжатию и растяжению, рабочую высоту сечения, ширину сечения, проекцию наклонного сечения.

Согласно европейскому Еврокоду 2 (ТКП EN 1992–1–1–2009) расчетное значение сопротивления поперечной силе в изгибаемых железобетонных балках без поперечной арматуры производится на основе модели, состоящей из растянутых и сжатых стержневых элементов. Расчетные зависимости ТКП EN 1992–1–1–2009 учитывают такие факторы, как: сопротивление бетона сжатию, рабочую высоту сечения, ширину сечения, процент продольного армирования.

Ниже дается сравнительный анализ методов расчета прочности наклонного сечения изгибаемого железобетонного элемента по отечественным и зарубежным нормам с экспериментальными данными, полученными в Американском институте бетона (ACI).

Рассматриваются четыре серии испытаний железобетонных балок, проведенных профессором G.N.J. Kanі (ACI). Геометрические характеристики рассматриваемых образцов приведены в табл. 1. Все опытные образцы имеют ряд постоянных параметров, таких, как: прочность бетона (270 кг/см^2), прочность и процент продольного армирования ($\mu_s=2,8\%$), ширина балок ($b=15,25 \text{ см}$). Изменяемыми факторами являются: высота балок ($h_0=13,5 \text{ см}$ в I серии, $h_0=27 \text{ см}$ во II серии, $h_0=54 \text{ см}$ в III серии, $h_0=108 \text{ см}$ в IV серии,) и расстояние от опоры до линии действия сосредоточенной нагрузки (анализировались балки со значением a от $1h_0$ до $3h_0$). Схема опытных образцов показана на рис. 1.

Т а б л и ц а 1

Геометрические характеристики опытных образцов

№ серии	№ образца	b , см	h_0 , см	a , см	l , см	a/h_0	$2F_u$ (кг 10^3)
I	1	15,24	14,12	33,98	113,66	2,41	10,49
	2	15,11	13,28	27,17	100,07	2,04	13,17
	3	15,11	13,33	27,17	100,07	2	14,07
	4	15,11	13,20	13,56	72,84	1,03	31,66
	5	15,11	13,58	13,30	72,84	1	32,15
	6	15,03	13,46	40,64	127	3,02	6,64
	7	15,44	13,97	37,28	120,29	2,67	10,22
	8	15,49	13,86	40,69	127,10	2,94	8,01
II	9	15,59	27,12	81,38	254,20	3	13,24
	10	15,26	26,59	27,12	145,69	1,02	73,34
	11	15,31	27,33	54,25	199,94	1,99	22,54
	12	15,34	27,50	67,81	227,07	2,46	14,83
	13	15,24	27,63	81,53	254,50	2,95	12,74
	14	15,31	27,45	67,94	227,33	2,47	15,55
	15	15,24	27,17	67,94	227,33	2,5	15,73
	16	15,31	26,97	54,35	200,15	2,02	22,81
III	17	15,64	54,15	108,50	318,61	2	33,29
	18	15,64	52,83	54,25	210,10	1,03	111,71
	19	15,51	54,22	54,25	210,10	1	119,38
	20	15,49	54,40	162,76	427,12	2,99	20,81
	21	15,24	54,91	108,71	319,02	1,96	40,14
	22	52,32	163,06	163,06	427,73	3,12	21,95
	23	52,40	163,06	163,06	427,73	3,11	21,99
	24	15,24	51,76	135,89	373,38	2,62	23,40
IV	25	15,24	109,72	219,45	642,11	2	66,49
	26	15,39	109,47	273,68	750,57	2,5	48,30
	27	15,36	109,22	327,66	858,52	3	33,65

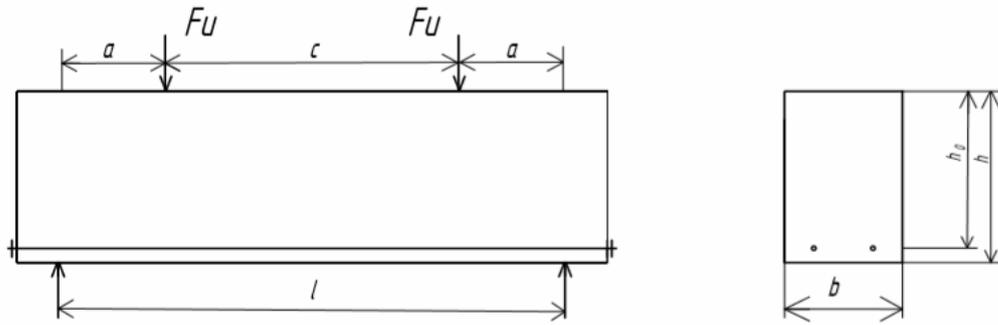


Рис. 1. Схема опытных образцов железобетонных балок

Расчет прочности изгибаемых железобетонных элементов при действии поперечных сил (по СП 6313330.2018)[1] проводится отдельно по бетонной полосе между наклонными сечениями

$$Q_{нп} = 0,3R_bbh_0 \quad (1)$$

и наклонному сечению

$$Q_{нс} = \frac{1,5R_{bt}bh_0^2}{c}, \quad (2)$$

где $Q_{нп}$ – поперечная сила в нормальном сечении элемента; $Q_{нс}$ – поперечная сила в наклонном сечении изгибаемого железобетонного элемента, воспринимаемая бетоном, на которую накладывається ряд ограничений: $0,5R_{bt}bh_0 \leq Q_{нс} \leq 2,5R_{bt}bh_0$; R_b – расчетное сопротивление бетона сжатию; R_{bt} – расчетное сопротивление бетона растяжению; h_0 – рабочая высота сечения; b – ширина сечения; c – длина проекции наклонного сечения на ось балки ($h_0 \leq c \leq 2h_0$).

Предельная поперечная сила (по ТКП EN 1992-1-1-2009) [2] для элементов без распределенной арматуры и преднапряжения определяется как

$$V_{Rc} = \left[C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} \right] b_w d, \quad (3)$$

где V_{Rc} – расчетное значение сопротивления поперечной силе (принимается с ограничением $V_{Rc} = \vartheta_{\min} b_w d$); f_{ck} – нормативная прочность бетона на сжатие; b_w – ширина сечения (b); d – рабочая высота сечения (h_0); ρ_l – процент продольного армирования (принимается с ограничением $\rho_l \leq 0,02$); $C_{Rd,c}, k$ – эмпирические коэффициенты.

Для изгибаемых железобетонных элементов, у которых $0,5 \leq a/h_0 \leq 2$, при определении расчетного значения сопротивления поперечной силе вводится поправочный коэффициент $\beta = a/2h_0$:

$$V = \beta \left[C_{Rd,c} k (100\rho_l f_{ck})^{1/3} \right] b_w d. \quad (4)$$

Результаты расчета по зависимостям (1)–(4) приведены в табл. 2–5.

Методологические основы анализа и синтеза сложных многокритериальных систем достаточно полно представлены в [9–11].

Т а б л и ц а 2

Результаты расчета по зависимостям (1)–(4) (серия 1, $h_0/b=1$)

a/h_0	P/R_bbh_0	$Q_{нп}/R_bbh_0$	$Q_{нс}/R_bbh_0$	V_{Rc}/R_bbh_0	V/R_bbh_0	$P/Q_{нп}$	$P/Q_{нс}$	P/V_{Rc}	P/V
1	4,21	4,77	1,5	0,6	1,19	0,8826	2,8066	7,0166	3,5378
2	1,85	2,34	1,125	0,6	0,6	0,79059	2,4666	3,0833	3,0833
3	0,95	1,59	0,5	0,6	0,4	0,5974	1,2666	1,5833	2,375

Установлено, что в балках с $h_0/b=1$ (серия 1):

- не обеспечивается прочность по наклонной сжатой бетонной полосе (зависимость (1), СП 6313330.2018), расхождение расчетных и опытных величин составляет 0,88 при $a/h_0=1$; 0,79 при $a/h_0=2$ и 0,60 при $a/h_0=3$ (рис. 2);
- запас прочности по наклонному сечению (зависимость (2), СП 6313330.2018) составляет 2,81 при $a/h_0=1$; 2,46 при $a/h_0=2$ и 1,27 при $a/h_0=3$ (рис. 2);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (3), ТКП EN 1992-1-1-2009) составляет 7,02 при $a/h_0=1$; 3,08 при $a/h_0=2$ и 1,58 при $a/h_0=3$ (рис. 2);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (4), ТКП EN 1992-1-1-2009) составляет 3,54 при $a/h_0=1$; 3,08 при $a/h_0=2$ и 2,38 при $a/h_0=3$ (рис. 2).

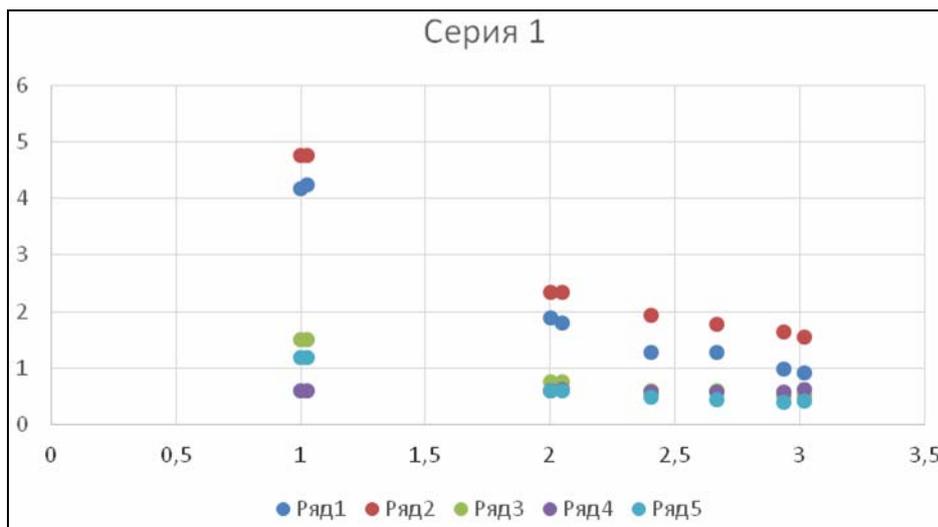


Рис. 2. Сопоставление расчетных величин с опытными данными (серия 1, $h_0/b=1$): ряд 1 – опытные данные; ряд 2 – $Q_{нп}$, расчет по зависимости (1); ряд 3 – $Q_{нс}$, расчет по зависимости (2); ряд 4 – $V_{рс}$, расчет по зависимости (3); ряд 5 – V , расчет по зависимости (4)

Т а б л и ц а 3

Результаты расчета по зависимостям (1)–(4) (серия 2, $h_0/b=2$)

a/h_0	$P/R_{bt}bh_0$	$Q_{нп}/R_{bt}bh_0$	$Q_{нс}/R_{bt}bh_0$	$V_{рс}/R_{bt}bh_0$	$V/R_{bt}bh_0$	$P/Q_{нп}$	$P/Q_{нс}$	$P/V_{рс}$	P/V
1	4,33	2,54	1,5	0,48	0,94	1,7047	2,8866	9,0208	4,6063
2	1,47	2,4	0,75	0,5	0,49	0,6125	1,96	2,94	3
3	0,81	0,82	0,5	0,49	0,33	0,9878	1,08	1,6530	2,4545

Установлено, что в балках с $h_0/b=2$ (серия 2):

- не обеспечивается прочность по наклонной сжатой бетонной полосе (зависимость (1), СП 6313330.2018) в балках с $a/h_0=2$, $a/h_0=3$ (расхождение расчетных и опытных величин составляет 0,61 при $a/h_0=2$; 0,99 при $a/h_0=3$), запас прочности при $a/h_0=1$ составляет 1,70 (рис. 3);
- запас прочности по наклонному сечению (зависимость (2), СП 6313330.2018) составляет 2,89 при $a/h_0=1$; 1,96 при $a/h_0=2$ и 1,08 при $a/h_0=3$ (рис. 3);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (3), ТКП EN 1992-1-1-2009) составляет 9,02 при $a/h_0=1$; 2,94 при $a/h_0=2$ и 1,65 при $a/h_0=3$ (рис. 3);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (4), ТКП EN 1992-1-1-2009) составляет 4,61 при $a/h_0=1$; 3,00 при $a/h_0=2$ и 2,45 при $a/h_0=3$ (рис. 3).

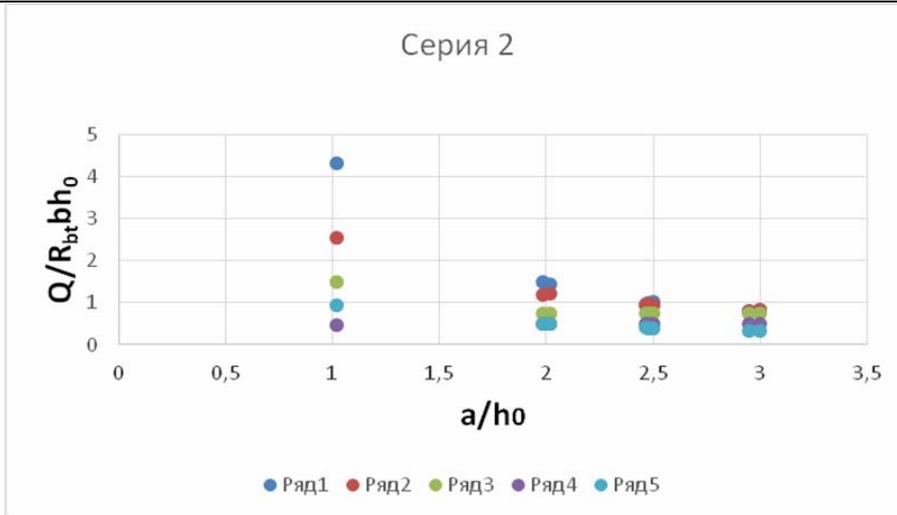


Рис. 3. Сопоставление расчетных величин с опытными данными (серия 1, $h_0/b=2$): ряд 1 – опытные данные; ряд 2 – $Q_{нп}$, расчет по зависимости (1); ряд 3 – $Q_{нс}$, расчет по зависимости (2); ряд 4 – V_{rs} , расчет по зависимости (3); ряд 5 – V , расчет по зависимости (4)

Т а б л и ц а 4

Результаты расчета по зависимостям (1)–(4) (серия 3, $h_0/b=3$)

a/h_0	$P/R_{bt}bh_0$	$Q_{нп}/R_{bt}bh_0$	$Q_{нс}/R_{bt}bh_0$	$V_{Rc}/R_{bt}bh_0$	$V/R_{bt}bh_0$	$P/Q_{нп}$	$P/Q_{нс}$	P/V_{Rc}	P/V
1	3,52	1,26	1,5	0,42	0,83	2,7936	2,3466	8,3809	4,2409
2	1,2	0,6	0,75	0,43	0,43	2	1,6	2,7906	2,7906
3	0,7	0,41	0,5	0,43	0,28	1,7073	0,9333	1,6279	2,5

Установлено, что в балках с $h_0/b=3$ (серия 3):

- запас прочности по наклонной сжатой бетонной полосе (зависимость (1), СП 6313330.2018) составляет 2,79 при $a/h_0=1$; 2,00 при $a/h_0=2$ и 1,71 при $a/h_0=3$ (рис. 4);
- не обеспечивается прочность по наклонному сечению (зависимость (2), СП 6313330.2018) при $a/h_0=3$ (расхождение расчетных и опытных величин составляет 0,93), запас прочности составляет 2,35 при $a/h_0=1$; 1,6 при $a/h_0=2$ (рис. 4);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (3), ТКП EN 1992–1–1–2009) составляет 8,38 при $a/h_0=1$; 2,79 при $a/h_0=2$ и 1,63 при $a/h_0=3$ (рис. 4);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (4), ТКП EN 1992–1–1–2009) составляет 4,24 при $a/h_0=1$; 2,79 при $a/h_0=2$ и 2,5 при $a/h_0=3$ (рис. 4).

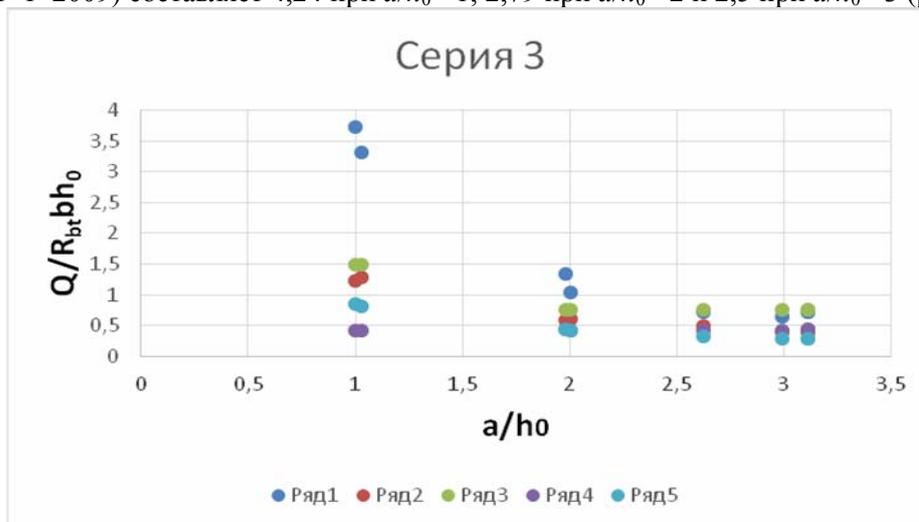


Рис. 4. Сопоставление расчетных величин с опытными данными (серия 1, $h_0/b=3$): ряд 1 – опытные данные; ряд 2 – $Q_{нп}$, расчет по зависимости (1); ряд 3 – $Q_{нс}$, расчет по зависимости (2); ряд 4 – V_{rs} , расчет по зависимости (3); ряд 5 – V , расчет по зависимости (4)

Результаты расчета по зависимостям (1)–(4) (серия 4, $h_0/b=4$)

a/h_0	$P/R_{bt}bh_0$	$Q_{нп}/R_{bt}bh_0$	$Q_{нс}/R_{bt}bh_0$	$V_{Rc}/R_{bt}bh_0$	$V/R_{bt}bh_0$	$P/Q_{нп}$	$P/Q_{нс}$	P/V_{Rc}	P/V
2	1,06	0,30	0,75	0,38	0,3812	3,5490	1,4095	2,7731	2,7731
2,5	0,77	0,24	0,6	0,38	0,3061	3,2171	1,0285	2,0156	2,5195
3	0,53	0,20	0,5	0,38	0,2537	2,6433	0,7096	1,3980	2,0970

Установлено, что в балках с $h_0/b=4$ (серия 4):

- запас прочности по наклонной сжатой бетонной полосе (зависимость (1), СП 6313330.2018) составляет 3,55 при $a/h_0=1$ и 2,64 при $a/h_0=3$ (рис. 5);
- запас прочности по наклонному сечению (зависимость (2), СП 6313330.2018) составляет 1,41 при $a/h_0=1$ и не обеспечивается прочность при $a/h_0=3$, расхождение расчетных и опытных величин составляет 0,71 (рис. 5);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (3), ТКП EN 1992–1–1–2009) составляет 2,77 при $a/h_0=1$ и 1,4 при $a/h_0=3$ (рис. 5);
- запас прочности по предельной поперечной силе (зависимость (4), ТКП EN 1992–1–1–2009) составляет 2,77 при $a/h_0=1$ и 2,09 при $a/h_0=3$ (рис. 5).

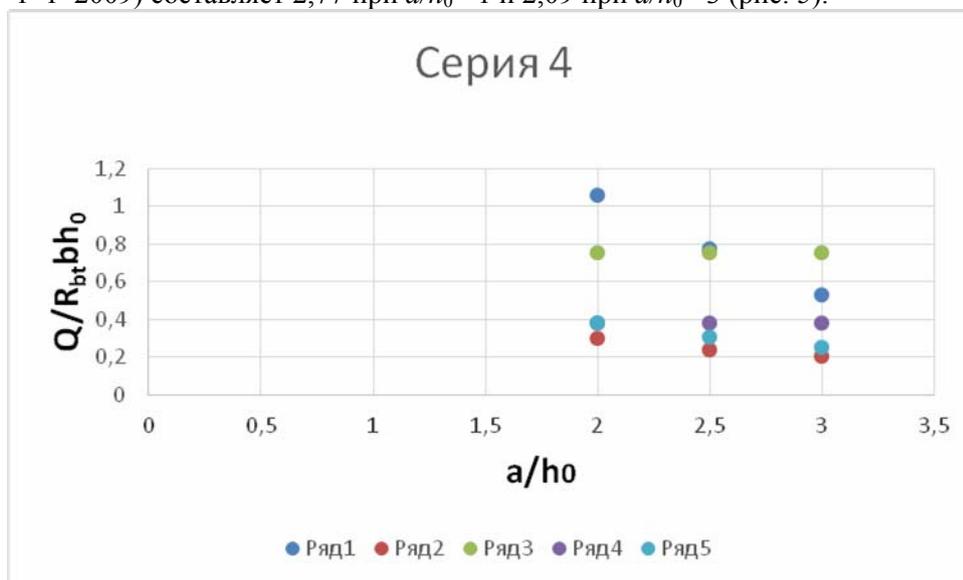


Рис. 5. Сопоставление расчетных величин с опытными данными (серия 1, $h_0/b=4$): ряд 1 – опытные данные; ряд 2 – $Q_{нп}$, расчет по зависимости (1); ряд 3 – $Q_{нс}$, расчет по зависимости (2); ряд 4 – V_{Rc} , расчет по зависимости (3); ряд 5 – V , расчет по зависимости (4)

Анализируя расчетные зависимости СП 6313330.2018 и ТКП EN 1992–1–1–2009, определяющие прочность изгибаемых железобетонных элементов на действие поперечных сил при изменении относительного пролета среза a/h_0 от 1 до 3, можно констатировать отсутствие универсальных моделей расчета как в отечественных, так и в европейских нормативных актах.

Выводы

В результате сравнения методов расчета железобетонных балок в зоне действия поперечных сил согласно СП 6313330.2018 и ТКП EN 1992–1–1–2009 с опытными данными установлено, что:

- существуют различные подходы по определению прочности в СП и EN в зоне действия поперечных сил;
- в Еврокоде используются нормативные характеристики прочности бетона при расчете на действие поперечных сил, а в отечественных нормах заложены расчетные значения;

- при расчете прочности по наклонному сечению согласно Еврокоду учитывается процент армирования продольной арматуры, а в отечественных нормах этот параметр отсутствует;
- расчет прочности наклонной сжатой полосы в Еврокоде не предусмотрен;
- расчетные зависимости СП и EN не отражают характер изменения опытных величин при изменении относительного пролета среза a/h_0 от 1 до 3 и требуют уточнения.

Список литературы

1. Свод правил СП 63.13330.2018 «СНиП 52–01–2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения».
2. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings (ТКП EN 1992–1–1–2009).
3. Филатов, В.Б. Анализ расчетных моделей при расчете прочности наклонных сечений железобетонных балок на действие поперечных сил / В.Б. Филатов, А.С. Арцыбасов, М.А. Багаутдинов, Д.И. Гордеев, А.И. Картунов, Р.А. Никитин // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – Т. 16, №4(3). – С.642–645.
4. Кодыш, Э.Н. Совершенствование нормативной базы проектирования железобетонных конструкций / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Теркин // Промышленное и гражданское строительство. – 2016. – №6. – С.25–28.
5. Снежкина, О.В. Оценка прочности железобетонных балок по экспериментальным данным / О.В. Снежкина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – № 2(31). – С.127–132.
6. Скачков, Ю.П. Зависимость прочности железобетонных балок от их геометрических характеристик в зоне действия поперечных сил / Ю.П. Скачков, О.В. Снежкина, Р.А. Ладин // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 1(38). – С.56–62.
7. Snezhkina, O.V. Engineering method for assessing the strength of reinforced concrete beams / O.V. Snezhkina // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 022050. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/2/022050>
8. Snezhkina, O.V. Strength assessment modeling for reinforced concrete beams in transverse forces / O.V. Snezhkina // Zone atlantis highlights in material sciences and technology (AHMST). – 2019. – Vol. 1. – P. 504–508. – URL: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.99>
9. Гарькина, И.А. Проектирование и оптимизация свойств сложных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, Е.В. Королев // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 4 (37). – С. 5–11.
10. Garkina, I.A. Modeling of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Yu.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417. – URL: <https://www.scientific.net/KEM.730.412>
11. Danilov, A.M. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, no. 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>

References

1. The set of rules SP 63.13330.2018 «SNiP 52-01-2003 Concrete and reinforced concrete structures. Basic provisions».
2. Eurocode 2: Design of concrete structures – Part 1: General rules and rules for buildings (ТКП EN 1992–1–1–2009).
3. Filatov, V.B. Analysis of computational models for calculating the strength of oblique sections of reinforced concrete beams on the action of transverse forces / V.B. Filatov,

A.S. Artsybasov, M.A. Bagautdinov, D.I. Gordeev, A.I. Kortunov, R.A. Nikitin // Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. – 2014. – Vol. 16, No. 4 (3). – P. 642–645.

4. Kodysh, E.N. Improvement of the regulatory framework for the design of reinforced concrete structures / E.N. Kodysh, N.N. Terkin // Industrial and civil construction. – 2016. – No. 6. – P.25–28.

5. Snezhkina, O.V. Strength assessment of reinforced concrete beams using experimental data / O.V. Snezhkina, A.A. Kiselev // Regional Architecture and engineering – 2017. – № 2 (31). – C.127–132.

6. Skachkov, Yu.P. Dependence of the strength of reinforced concrete beams on their geometric characteristics in the zone of action of transverse forces / Yu.P. Skachkov, O.V. Snezhkina, R.A. Ladin // Regional architecture and engineering. – 2019. – No. 1 (38). – P.56–62.

7. Snezhkina, O.V. Engineering method for assessing the strength of reinforced concrete beams / O.V. Snezhkina // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 537 (2019) 022050. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/537/2/022050>

8. Snezhkina O.V. Strength assessment modeling for reinforced concrete beams in transverse forces / O.V. Snezhkina // Zone atlantis highlights in material sciences and technology (AHMST). – 2019. – Vol. 1. – P. 504–508. – URL: <https://doi.org/10.2991/isees-19.2019.99>

9. Garkina, I.A. Design and optimization of properties of complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, E.V. Korolev // Regional Architecture and Engineering. – 2018. – No. 4 (37). – P. 5–11.

10. Garkina, I.A. Modeling of building materials as complex systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, Yu.P. Skachkov // Key Engineering Materials. – 2017. – Vol. 730. – P. 412–417. – URL: <https://www.scientific.net/KEM.730.412>

11. Danilov, A.M. Coherence function in analysis and synthesis of complex systems / A.M. Danilov, I.A. Garkina // Contemporary Engineering Sciences. – 2015. – Vol. 8, no. 9. – P. 375–380. – URL: <http://dx.doi.org/10.12988/ces.2015.5236>

УДК 721

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

Дерина Мария Александровна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: gsia@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

Derina Maria Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Urban Construction and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

КОНЦЕПЦИЯ ВАРИАТИВНОГО СРАВНЕНИЯ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ЖИЛЫХ И ОБЩЕСТВЕННЫХ ЗДАНИЙ

М.А. Дерина

Приведены результаты анализа объемно-планировочного решения по технико-экономическим показателям для зданий с аналогичными конструкциями, инженерным оборудованием и уровнем комфорта. Выполнено сравнение разрабатываемого решения с проектами, принятыми за аналоги. Показана неэффективность показателей проектаналага при выборе варианта разрабатываемого проекта из-за трудоемкости и отсутствия одинаковых исходных данных. Разработана методика для оценки технико-экономических показателей конструктивного решения, основанная на сравнении показателей, определенных для разных конструктивных категорий жилых зданий. Рассчитана экономическая эффективность квадратной формы плана здания. Исследована зависимость изменения площади наружных стен здания, приходящейся на единицу застраиваемой площади, от параметров плана здания. Сделан вывод об изменении длины наружных стен здания на 1 м² застраиваемой площади в зависимости от размеров и формы плана, точности расчета технико-экономических показателей сравниваемых зданий с разными параметрами.

Ключевые слова: архитектурно-строительное проектирование, здание, аналог, технико-экономические показатели, застраиваемая площадь, наружные стены, план, форма, размер

CONCEPT OF VARIABLE COMPARISON OF TECHNICAL AND ECONOMIC SOLUTIONS FOR RESIDENTIAL AND PUBLIC BUILDINGS

M.A. Derina

The analysis of the space-planning solution according to technical and economic indicators for buildings with similar structures, engineering equipment and comfort level is carried out. The developed solution is compared with the projects accepted as analogues. The inefficiency of the indicators of the analog project is shown when choosing a variant of the developed project due to the complexity and lack of the same source data. A methodology for evaluating technical and economic indicators of a design solution is developed, based on a comparison of indicators defined for different structural categories of residential buildings. The economic efficiency of the square shape of the building plan is calculated. The dependence of the change in the area of external walls of the building, per unit of built-up area, on the parameters of the building plan is investigated. The conclusion is made about the change in the length of the external walls of the building by 1 m² of the built-up area, depending on the size and shape of the plan, the accuracy of calculating the technical and economic indicators of the compared buildings with various parameters.

Keywords: architectural and construction design, building, analog, technical and economic indicators, built-up area, external walls, plan, shape, size

В архитектурно-строительном проектировании жилых и общественных зданий на стадии технико-экономического обоснования (ТЭО) выполняется выбор варианта для дальнейшей проработки на стадии «рабочей документации». В качестве сравнительного аналога принимается ранее запроектированное в соответствии с действующими нормами здание.

Варианты объемно-планировочного решения сравниваются по технико-экономическим показателям для зданий с аналогичными конструкциями, инженерным оборудованием и уровнем комфорта. Анализ конструктивного решения выполняется для схожих по объемно-планировочным показателям зданий, одинаковых по вместимости и запроектированных для равных природно-климатических условий.

Однако не всегда возможно выполнение названных требований, т.к. объемно-планировочное и конструктивное решения часто взаимосвязаны. От проекта, принятого за образец, будет зависеть результат разрабатываемого проекта: он будет тем лучше, чем хуже показатели в проекте-аналоге. При этом, сравнивая разрабатываемое решение с разными проектами, принятыми за аналоги, можно получить и положительный, и отрицательный результат. Следовательно, такое сравнение неэффективно, оно зависит от показателей проекта-аналога.

Строительные нормы и правила не регламентируют требования к проектам, принимаемым в качестве образца. Поэтому объективно оценить разрабатываемое или разработанное проектное решение затруднительно. Аналог может быть принят к сопоставлению только при наличии одинаковых исходных данных с разрабатываемым проектом. Тогда показатели могут быть сопоставимы, а оценка будет объективной.

Разработка проекта-аналога трудоемка, и он может быть таковым только для небольшого числа разрабатываемых проектов жилых или общественных зданий.

Поэтому для оценки технико-экономических показателей конструктивного решения была разработана методика, основанная на сравнении показателей, определенных для разных конструктивных категорий жилых зданий. Объемно-планировочное решение проектов-аналогов может быть различным и использоваться для сравнения в конкретном конструктивном решении. Обязательным при этом являются одинаковые в разрабатываемом варианте и образце конструктивные схемы, природно-климатические, геологические и гидрологические условия. Сравнимые здания должны быть одинаковой этажности и отвечать действующим требованиям тепло-, звукоизоляции и противопожарной безопасности. Сметы в сравниваемых проектах должны быть выполнены для одного региона и временного промежутка.

Так как объемно-планировочное решение в проектах индивидуально, то во избежание различия предлагается преобразовать сравниваемые проекты, сохраняя особенности конструктивной схемы. Можно разрабатывать эскизные планировки, незначительно изменяя взаимное расположение стен и перегородок. Такая планировка должна обеспечить одинаковые показатели этажности, ширины и длины здания, высоты этажа, набора квартир, средней общей площади квартиры, отношения площадей глухих участков наружных стен и занятых оконными проемами, площади летних помещений и термического сопротивления наружных ограждающих конструкций. В проекте-аналоге при необходимости допускается корректировать решения подземной части здания, наружной и внутренней отделки, после чего изменяется смета и считаются технико-экономические показатели.

Использование предложенной методики повышает точность расчета показателей и эффективность выводов о принимаемом конструктивном решении жилого здания. Однако при этом остаются нерешенными следующие вопросы: планировочное решение аналога частично условно, его корректировка продолжительна и трудоемка, а результат разрабатываемого проекта констатирует результат проектирования.

Чтобы решить перечисленные вопросы были применены условные проекты для снижения различий между аналогом и разрабатываемым вариантом; и показатели анализируемого проекта, выраженные в относительных единицах (процентах) от проекта-аналога.

Практические расчеты и технико-экономический анализ жилых и общественных зданий показали, что изменения в проекте одной из характеристик являются причиной изменения других. Например, при замене стен из сборных панелей на монолитный вариант изменяются сроки возведения, расходы по содержанию здания, объемно-планировочное решение.

В некоторых случаях изменяемая в проекте характеристика не являлась причиной его корректировки. Так, проект общественного здания с монолитными стенами и стенами из кирпича имел одинаковые размеры в плане, объемно-планировочное решение, этажность. Но авторы проекта вносили изменения по своим творческим и техническим соображениям, изменяя технико-экономические показатели. В этом случае следует определять целесообразность только измененной характеристики. Для этого технико-экономические показатели разных проектных решений приводились к виду, сопоставимому для сравнения.

Для сравнения экономических показателей были приняты проекты зданий, различающихся по форме плана, длине, ширине, высоте помещений и здания в целом и др. Так как названные параметры влияют на стоимость 1 м^2 общей площади здания, то при исследовании влияния некоторых из них была выявлена зависимость. Например, ограждающие конструкции, приходящиеся на 1 м^2 общей площади, зависят от формы здания в плане, его длины и ширины. При круглом плане здания, имеющем диаметр D , протяженность стен, приходящихся на 1 м^2 площади застройки, определялась как отношение $4/D$. Она оказалась меньше, чем при квадратном плане здания и равном по застраиваемой площади. Принимая длину стороны квадрата n , а протяженность стен на 1 м^2 площади застройки $4/n$, получили зависимость между диаметром и стороной квадрата плана здания:

$$n = 0,897D \text{ (} 4/D \text{ меньше } 4/n\text{)}.$$

При этом при увеличении в два раза диаметра круглого в плане здания длина наружных стен, приходящаяся на единицу застраиваемой площади, вдвое уменьшается. Настолько же уменьшается длина наружных стен при квадратном плане здания с увеличением стороны квадрата в два раза.

Также была исследована зависимость изменения площади наружных стен здания, приходящейся на единицу застраиваемой площади, от других параметров.

Для определения зависимости длины наружных стен, приходящейся на 1 м^2 общей площади здания, от формы плана, был выполнен расчет, в котором рассматривалось пятнадцать сечений (планов) прямоугольной формы и равной площади. В качестве аналога было принято квадратное сечение плана размером $15 \times 15 \text{ м}$. Размеры сторон остальных сечений изменялись от $4 \times 56,25 \text{ м}$ до $14 \times 16,05 \text{ м}$. Во всех вариантах при равной площади плана длина наружных стен изменялась от $120,5 \text{ м}$ (самый неблагоприятный вариант) до 60 м (проект-аналог). Площадь плана определялась как $S=nm$, а периметр наружных стен $\Pi=2(n+m)$. В качестве характеристики формы равных по площади планов был введен коэффициент $k = n/m$. Данные расчета длины наружных стен в зависимости от соотношения размеров сторон плана здания приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Результат расчета длины наружных стен
в зависимости от соотношения размеров сторон плана здания

Номер варианта	Длина плана здания, $n, \text{ м}^2$	Ширина плана здания, $m, \text{ М}^2$	Длина наружных стен здания, $\Pi, \text{ м}$	Застраиваемая площадь, $S, \text{ м}^2$	Соотношение сторон плана здания $K=n/m$
1	2	3	4	5	6
1	4,0	56,25	120,5	225	0,071
2	5,0	45,0	100,0	225	0,111
3	5,5	41,0	93,0	225	0,134
4	6,0	37,5	87,0	225	0,16

1	2	3	4	5	6
5	6,5	34,6	82,2	225	0,188
6	7,0	32,2	78,4	225	0,217
7	8,0	28,2	72,4	225	0,284
8	8,5	26,5	70,0	225	0,32
9	9,0	25,0	68,0	225	0,36
10	10,0	22,5	65,0	225	0,445
11	11,0	20,4	62,8	225	0,54
12	12,0	18,75	61,5	225	0,64
13	13,0	17,33	60,7	225	0,75
14	14,0	16,05	60,1	225	0,872
Проект-аналог	15,0	15,0	60,0	225	1,0

Зависимость длины наружных стен (для прямоугольных зданий) от формы плана при равной площади представлена на рис. 1. Длина стен, приходящаяся на 1 м² общей площади, изменяется от 0,8 до 2,08 м на 1 м² застраиваемой площади (в 2,5 раза). Следовательно, здание экономически более эффективно, чем ближе его форма плана приближается к квадрату, т.к. уменьшается стоимость наружных стен на 1 м² общей площади здания.

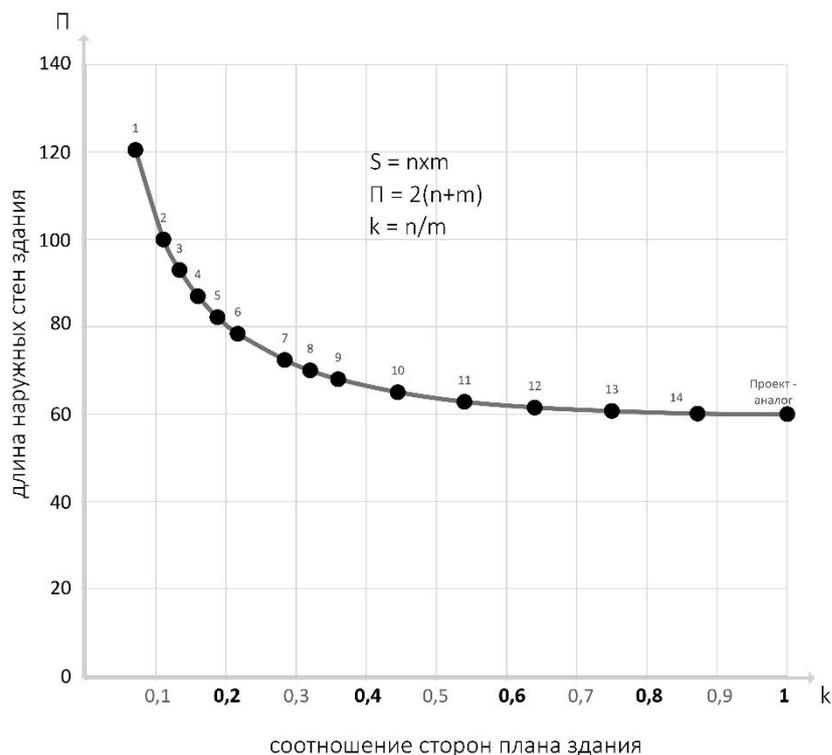


Рис. 1. Зависимость длины наружных стен прямоугольного здания от формы плана

Но выполнить квадратное в плане жилое здание при площади этажа более 200 м² нельзя из-за недостаточной естественной освещенности и дорогостоящей вентиляции помещений в глубине корпуса, а также сложности выполнения мероприятий по противопожарной безопасности. Поэтому при ограничении ширины здания экономичнее будет то, у которого больше длина, за счет уменьшения показателей стоимости торцевых стен. Чтобы проверить это, было выполнено исследование изменения длины

наружных стен здания на 1 м² застраиваемой площади для жилых зданий с шириной корпуса 10, 12, 14 и 16 м в зависимости от размеров плана здания. Анализировалось двенадцать жилых зданий одинаковой ширины и разной длины от 8 до 240 м. Данные расчетов приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

Результат расчета изменения длины наружных стен здания на 1 м² застраиваемой площади в зависимости от размеров сторон прямоугольной формы плана

Ширина плана здания, m , м	Длина плана здания, n , м	Застраиваемая площадь, S_s , м ²	Длина наружных стен здания, $\Pi = 2(n+m)$, м	Длина наружных стен здания на 1 м ² застраиваемой площади, $L = \Pi/S_s$
1	2	3	4	5
10	8	80	36	0,45
	12	120	44	0,367
	18	180	56	0,31
	24	240	68	0,284
	32	320	84	0,262
	42	420	104	0,248
	54	540	128	0,237
	72	720	164	0,228
	100	1000	220	0,220
	140	1400	300	0,214
	180	1800	380	0,211
	240	2400	500	0,203
12	8	96	40	0,42
	12	144	48	0,334
	18	216	60	0,28
	24	288	72	0,25
	32	384	88	0,229
	42	504	108	0,215
	54	648	132	0,203
	72	864	168	0,195
	100	1200	224	0,187
	140	1680	304	0,181
	180	2160	384	0,178
	240	2880	504	0,175
14	8	112	44	0,393
	12	168	52	0,31
	18	252	64	0,254
	24	336	76	0,226
	32	448	92	0,205
	42	588	112	0,191
	54	756	136	0,177
	72	1008	172	0,171
	100	1400	228	0,163
	140	1960	308	0,157
	180	2520	388	0,154
	240	3360	508	0,151
16	8	128	48	0,375
	12	192	56	0,292
	18	288	68	0,236
	24	284	80	0,210
	32	512	96	0,188

1	2	3	4	5
	42	672	116	0,172
	54	864	140	0,162
	72	1152	176	0,153
	100	1600	232	0,145
	140	2240	312	0,140
	180	2880	392	0,136
	240	3840	512	0,133

Зависимость изменения длины наружных стен здания на 1 м^2 застраиваемой площади от размеров плана приведена на рис. 2. При уменьшении длины корпуса для зданий с одинаковой шириной показатель длины наружных стен L увеличивался: 10 м – в 2,2 раза, 12 м – в 2,4 раза, 14 м – в 2,6 раза, 16 м – в 2,8 раза. В целом для всех исследуемых зданий этот показатель изменялся в 3,38 раза, т.е. от 0,45 до 0,133.

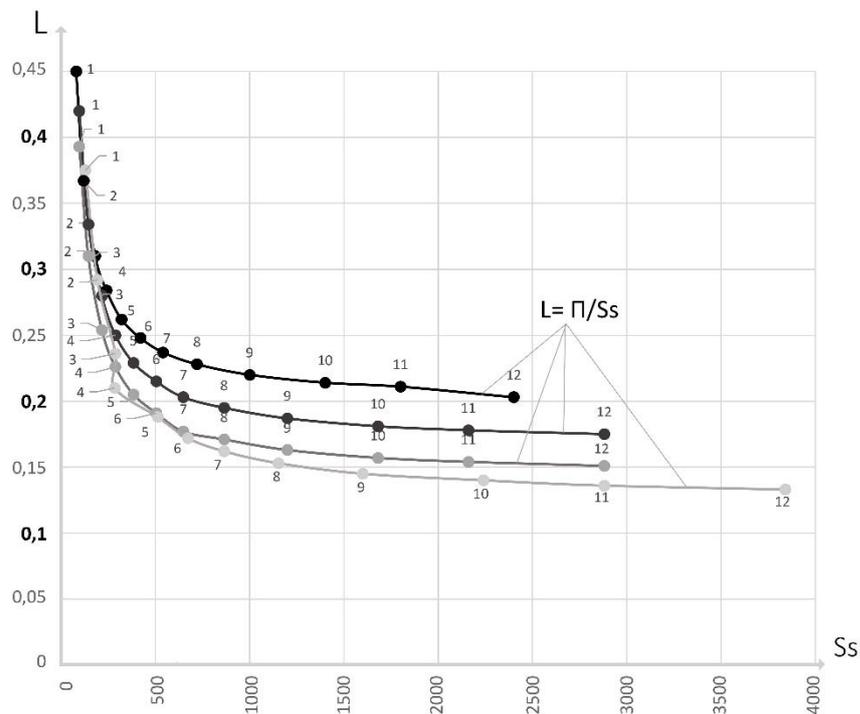


Рис. 2. Изменение длины наружных стен здания на 1 м^2 застраиваемой площади в зависимости от размеров плана

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что длина наружных стен здания на 1 м^2 застраиваемой площади будет меньше, если:

- размеры здания в плане больше;
- соотношение сторон плана зданий прямоугольной формы приближается к 1:1 при равной застраиваемой площади;
- план здания приближается к кругу при равной застраиваемой площади.

Предлагаемая методика позволит более точно рассчитывать технико-экономические показатели сравниваемых зданий с разными параметрами, принимая более объективные проектные решения.

Список литературы

1. Бекренева, Т.А. Технико-экономическое сравнение вариантов возведения ограждающих конструкций стен многоквартирных жилых зданий / Т.А. Бекренева // StudArctic Forum. – 2016. – №4(4). – С.8–13.
2. Волков, С.В. Технико-экономические показатели оценки качества организационно-технологических решений строительства жилых объектов / С.В. Волков, И.В. Волкова, В.Н. Шведов // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2016. – №9(657). – С.32–34.
3. Девятникова, Л.А. Исследование технико-экономических параметров при выборе возведения ограждающих конструкций индивидуальных жилых домов / Л.А. Девятникова, Е.Г. Емельянова, А.А. Кузьменков, А.А. Симонова // Ученые записи Петрозаводского государственного университета. – 2016. – №4. – С.82–88.
4. Дарюхин, А.Д. Сравнительный анализ технико-экономических параметров конструктивных систем жилых зданий / А.Д. Дарюхин, Н.И. Фокин // Молодой ученый. – 2018. – №18(203). – С. 57–61.
5. Дерина, М.А. Параметры выбора кровельного покрытия при капитальном ремонте здания / М.А. Дерина // Академический вестник УралНИИпроект РААСН. – 2019. – №1(40). – С.83–86.
6. Петрянина, Л.Н. Система экологического менеджмента в проектной организации / Л.Н. Петрянина, А.А. Булдыгина, О.В. Карпова // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №4. – С.164.
7. Петрянина, Л.Н. Проблемы теплозащиты зданий / Л.Н. Петрянина, Э.В. Санян, М.А. Дерина // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2017. – №6(13). – С. 179–187.

References

1. Bekreneva, T.A. Technical and economic comparison of options for the construction of enclosing structures of walls of multi-apartment residential buildings / T.A. Bekreneva // StudArctic Forum. – 2016. – No. 4 (4). – P. 8–13.
2. Volkov, S.V. Technical and economic indicators for assessing the quality of organizational and technological solutions for the construction of residential facilities / S.V. Volkov, I.V. Volkova, V.N. Shvedov // News of higher educational institutions. Stroitelstvo. – 2016. – No. 9 (657). – P. 32–34.
3. Devyatnikova, L.A. Study of technical and economic parameters when choosing the construction of enclosing structures of individual residential buildings / L.A. Devyatnikova, E.G. Emelyanova, A.A. Kuzmenkov, A.A. Simonova // Scientific records of Petrozavodsk State University. – 2016. – No. 4. – P. 82–88.
4. Dariukhin, A.D. Comparative analysis of technical and economic parameters of structural systems of residential buildings / A.D. Dariukhin, N.I. Fokin // A young scientist. – 2018. – No. 18 (203). – P. 57–61.
5. Derina, M.A. Parameters of the choice of roofing during major repairs of the building / M.A. Derina // Academic Bulletin of UralNIIproekt RAASN. – 2019. – No. 1 (40). – P. 83–86.
6. Petryanina, L.N. The system of environmental management in the project organization / L.N. Petryanina, A.A. Buldygina, O.V. Karpova // Regional architecture and engineering. – 2017. – No. 4. – P. 164.
7. Petryanina, L.N. Problems of heat protection of buildings / L.N. Petryanina, E.V. Sanyan, M. A. Derina // Education and science in the modern world. Innovation. – 2017. – No. 6 (13). – P. 179–187.

ИНЖЕНЕРНЫЕ СИСТЕМЫ

ENGINEERING SYSTEMS

УДК 697.34-049.5

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

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

Ежов Евгений Григорьевич,
доктор физико-математических наук,
профессор кафедры «Информационно-
вычислительные технологии»
E-mail: tgv@pguas.ru

Леонтьев Виктор Александрович,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: tgv@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

Eremkin Aleksander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Heat, Gas Supply
and Ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Ezhov Evgeny Grigoryevich,
Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor of the department of
«Information and Computing Technologies»
E-mail: tgv@pguas.ru

Leontiev Victor Aleksandrovich,
Candidate of Sciences, Senior Lecture of the
department «Heat, Gas Supply and
Ventilation»
E-mail: tgv@pguas.ru

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

А.И. Еремкин, Е.Г. Ежов, В.А. Леонтьев

Разработана методика исследования систем теплоснабжения, основанная на проведении анализа работы источников тепловой энергии и тепловых сетей с учетом оценки надежности и энергетической эффективности работы системы теплоснабжения. Особое внимание уделено анализу тепловых нагрузок потребителей. Данная методика позволила разработать рекомендации по улучшению качества теплоснабжения.

Ключевые слова: теплоснабжение, источники тепловой энергии, методика исследования, коммунальная энергетика, схема теплоснабжения, котельные, тепловые сети, надежность теплоснабжения

RESEARCH METHODOLOGY OF RELIABILITY AND ENERGY EFFICIENCY OF HEAT SUPPLY SYSTEMS

A.I. Eremkin, E.G. Ezhov, V.A. Leontiev

A methodology for the study of heat supply systems is developed. Special attention is paid to the analysis of heat loads of consumers, based on the analysis of the operation of heat energy sources and heat networks taking into account the assessment of the reliability and energy efficiency of a heat supply system. This method allowed to develop recommendations for improving the quality of heat supply.

Keywords: heat supply, heat energy sources, research method, municipal energy, heat supply scheme, boiler houses, heat networks, reliability of heat supply

Для соблюдения современных требований надежности теплоснабжения, а также энергосбережения необходимо повышать качество эксплуатации тепловых сетей и источников тепловой энергии, применять современное оборудование, проводить мероприятия по мониторингу соблюдения параметров теплоснабжения.

Одним из таких мероприятий является разработка новой методики исследования систем теплоснабжения потребителей.

Исследование системы теплоснабжения представляет собой комплексную задачу определения необходимых капитальных вложений, надежности теплоснабжения, энергоэффективности работы котельного оборудования и тепловых сетей.

Решение указанной проблемы включает анализ фактических тепловых нагрузок потребителей с учётом перспективного развития на 15 лет, структуры топливного баланса области, оценку состояния существующих источников тепла и тепловых сетей и возможности их дальнейшего использования, рассмотрение вопросов надёжности, экономичности.

При разработке методики соблюдались следующие основные принципы, утвержденные Федеральным законодательством РФ [1, 2, 3]:

- обеспечение безопасности и надежности теплоснабжения потребителей в соответствии с требованиями технических регламентов;
- достижение энергетической эффективности теплоснабжения и потребления тепловой энергии с учетом требований, установленных федеральными законами;
- приоритетное использование комбинированной выработки тепловой и электрической энергии для организации теплоснабжения с учетом экономической обоснованности;
- соблюдение баланса экономических интересов теплоснабжающих организаций и интересов потребителей;
- минимизация затрат на теплоснабжение в расчете на единицу тепловой энергии для потребителя в долгосрочной перспективе;
- обеспечение недискриминационных и стабильных условий осуществления предпринимательской деятельности в сфере теплоснабжения;
- согласование схем теплоснабжения с иными программами развития сетей инженерно-технического обеспечения, а также с программами газификации поселений, городских округов;
- выбор температурного графика для системы теплоснабжения;
- соблюдение требований качества теплоснабжения для всех потребителей независимо от их удаленности от источника тепла;
- обеспечение требований качества горячего водоснабжения для всех потребителей независимо от удаленности и источников тепла.

Основные задачи:

- обоснование необходимости и экономической целесообразности проектирования и строительства новых, расширения и реконструкции существующих источников тепловой энергии и тепловых сетей, средств их эксплуатации и управления с целью обеспечения энергетической безопасности, развития экономики поселения и надежности теплоснабжения потребителей;
- определение возможности подключения к сетям теплоснабжения новых объектов капитального строительства и выбор организации, обязанной при наличии технической возможности произвести такое подключение;
- повышение надежности работы систем теплоснабжения в соответствии с нормативными требованиями;
- минимизация затрат на теплоснабжение в расчете на каждого потребителя в долгосрочной перспективе;
- строительство новых объектов производственного и другого назначения, используемых в сфере теплоснабжения.

Разработанная методика использовалась при проведении исследования системы теплоснабжения г. Сердобска, Пензенской области, обладающего статусом городского поселения с численностью населения на 01.01.2020 года 31487 человек.

Температурный режим характеризуется перепадами как в течение суток, так и в течение года. Средняя температура воздуха наиболее холодного месяца $-9,8^{\circ}\text{C}$. Температура воздуха наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 минус 27°C . Абсолютный минимум температур минус 47°C . Продолжительность отопительного периода 200 суток.

Общая жилищная площадь, приходящаяся на одного человека в городе, составляет $26,7 \text{ м}^2$, жилая площадь 19 м^2 .

Основные характеристики жилого фонда г. Сердобска приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Характеристики жилищного фонда г. Сердобска.

Наименование показателей	Общая площадь жилых помещений – всего, тыс. м^2	в том числе	
		в индивидуальных жилых домах	в многоквартирных жилых домах
Общая площадь жилищного фонда (всего тыс. кв. м)	868,5	295	573,5
в том числе в собственности граждан	834,9	274,9	560
в том числе в муниципальной собственности	12,6	0,7	11,9
в том числе в государственной собственности	21,0	–	1,5

Приведенные в табл. 1 данные позволяют сделать вывод, что жилищный фонд муниципального образования характеризуется преобладающим количеством квартир многоквартирной жилой застройки над количеством индивидуальных жилых домов. Также характерной особенностью является отсутствие аварийного фонда.

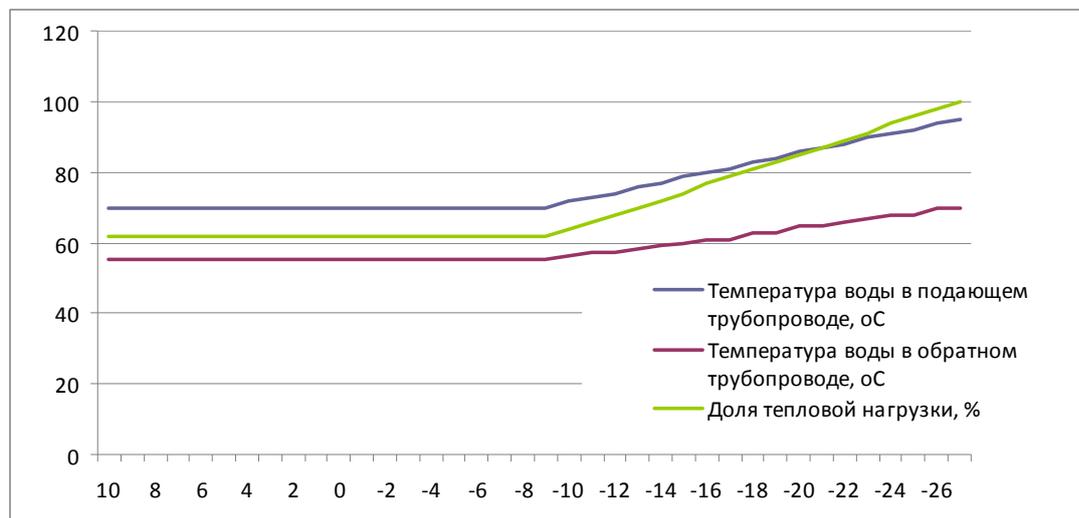
В перспективе до 2036 г. прогнозируется рост численности населения г. Сердобска на 13 %, что повлечет за собой увеличение жилого фонда с 833 до 960 тыс. кв. м, основной рост площади планируется за счет индивидуальной застройки. С целью удовлетворения социальных нужд населения генеральным планом поселения предусмотрено строительство социальных и общественных объектов. Все вышеперечисленные факторы приведут к росту потребления тепловой энергии в многоквартирных домах и социально-бытовых объектах до 38 МВт.

Система теплоснабжения представляет собой инженерный комплекс из источников тепловой энергии и потребителей тепла, связанных между собой тепловыми сетями различного назначения, имеющими характерные тепловые и гидравлические режимы с заданными параметрами теплоносителя. Величины параметров и характер их изменения определяются техническими возможностями основных структурных элементов систем теплоснабжения (источников, тепловых сетей и потребителей), экономической целесообразностью.

В настоящее время на территории г. Сердобска существует централизованная схема теплоснабжения от нескольких источников тепловой энергии – 25 котельных. Обслуживающие организации тепловых сетей ООО «Теплобытсервис», МКП «Теплосеть» города Сердобска, Сердобского района, ООО «Теплоком», ООО «Мечта». В г. Сердобске действуют магистральные и распределительные сети от существующих источников тепла. Водяные тепловые сети выполнены двухтрубными и четырехтрубными (при наличии ГВС), циркуляционными, подающими тепло на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Обеспечение тепловых нагрузок промышленных предприятий происходит от локальных ведомственных котельных. Теплоснабжение потребителей осуществляется непосредственно по распределительным сетям.

Схема теплоснабжения – зависимая. Схема горячего водоснабжения у большинства потребителей – закрытая, от котельных № 7,10,12,13 – открытая. Применение качественного отпуска теплоты происходит в котельных. Регулирование качественное по температурному графику. Присоединение потребителей непосредственное без элеваторных узлов и тепловых пунктов. Приготовление воды на горячее водоснабжение производится в котельных.

Отпуск тепловой энергии на отопление осуществляется по температурному графику 95/70, который представлен на рисунке.



Температурный график без учета нагрузки на ГВС

Температурный график корректируется в зависимости от гидравлических режимов потребителей.

В частном секторе отопление индивидуальное от газообразного топлива.

Установлено, что среди основных мероприятий по энергосбережению в системах теплоснабжения оптимизация системы теплоснабжения в городах осуществляется с учетом эффективного радиуса теплоснабжения. Передача тепловой энергии на большие расстояния является экономически неэффективной.

Радиус эффективного теплоснабжения позволяет определить условия, при которых подключение новых или увеличивающих тепловую нагрузку теплопотребляющих установок к системе теплоснабжения не целесообразно вследствие увеличения совокупных расходов в указанной системе на единицу тепловой мощности, определяемой для зоны действия каждого источника тепловой энергии.

Анализ радиуса эффективного теплоснабжения города Сердобска показал, что контуры зон действия каждого источника являются оптимальными, однако дальнейшее увеличение радиуса действия источников приведет к росту затрат на перекачку теплоносителя и увеличению тепловых потерь при передаче тепловой энергии, что является экономически неэффективным; следовательно, присоединение новых удаленных потребителей тепловой энергии к существующим источникам тепловой энергии не целесообразно.

В системах централизованного теплоснабжения тепло расходуется на отопление зданий, нагревание приточного воздуха в установках вентиляции и кондиционирования, горячее водоснабжение, а также технологические процессы промышленных предприятий.

Известно, что тепловые нагрузки на отопление и вентиляцию зависят от температуры наружного воздуха и других климатических условий района теплоснабжения. Таким образом, в системах отопления и вентиляции теплота расходуется неравномерно в течение года.

Значения установленной тепловой мощности основного оборудования источников тепловой энергии (в разрезе котельных) представлены в табл. 2.

Из приведенных в табл. 2 данных следует, что увеличение установленной мощности котельных не планируется. На всех источниках тепловой энергии имеется запас мощности в пределах 26-46 %, на отдельных котельных резерв мощности достигает 87 %, что говорит о низкоэффективном режиме работы оборудования. Такая ситуация связана с переходом промышленных потребителей на собственный источник тепловой энергии и ликвидацией ряда предприятий.

Т а б л и ц а 2

Мощности существующих котельных

Наименование котельной	Установленная тепловая мощность котельной, Гкал/ч	
	существующая	перспективная
ООО «Теплобытсервис»		
Котельная №1	0,77	0,77
Котельная №2	1,08	1,08
Котельная №3	1,08	1,08
Котельная №4	0,326	0,326
Котельная №5	0,245	0,245
Котельная №6	1,08	1,08
Котельная №7	1,08	1,08
Котельная №8	4,127	4,127
Котельная №10	0,245	0,245
ООО «Теплоком»		
МК-1674	1,4	1,4
ООО «Мечта»		
Котельная	6	6
МКП «Теплосеть» города Сердобска Сердобского района		
Котельная №1	12	12
Котельная №2	4,5	4,5
Котельная №3	7,5	7,5
Котельная №4	5,5	5,5
Котельная №5	3	3
Котельная №6	5	5
Котельная №7	10	10
Котельная №9	7,5	7,5
Котельная №10	3	3
Котельная №11	9	9
Котельная №12	8	8
Котельная №13	1,26	1,26
Котельная №14	13	13
Блочная модульная котельная	3,48	3,48

Существующая схема теплоснабжения г. Сердобска централизованная и автономная от модульных котельных. Теплоснабжение потребителей осуществляется непосредственно по распределительным сетям. Тепловые сети прокладываются по территории города надземно на отдельно стоящих опорах и подземно в непроходных каналах. Теплопроводы прокладываются из труб стальных теплоизолированных. Установлено, что износ тепловых сетей составляет от 20 до 60 %. Тепловые потери в результате утечек и через тепловую изоляцию составляют 6-10 %. Минимальный диаметр теплопровода 32 мм, максимальный 219 мм. Общая протяженность тепловых сетей г. Сердобска составляет 33,8 км. В качестве теплоизоляции используются

минераловатные плиты или аналогичный материал. Подключение потребителей теплоты к тепловым сетям осуществляется по зависимой схеме. Автоматизация в ИТП отсутствует. Защита тепловых сетей от превышения давления достигается путем установки в зданиях котельных мембранных расширительных баков и сбросных клапанов. В качестве запорной арматуры применяются стальные фланцевые задвижки.

Нормативная надежность тепловых сетей составляет $P_{тс}=0,9$. Для ее достижения предусматривается применение современных материалов при устройстве тепловых сетей – трубопроводов и фасонных частей с заводской изоляцией из пенополиуретана с полиэтиленовой оболочкой. Теплопроводы оборудуются системой контроля состояния тепловой изоляции, что позволяет своевременно и с большой точностью определять места утечек теплоносителя и, соответственно, участки разрушения элементов тепловых сетей. Основным показателем ремонтпригодности системы теплоснабжения является время восстановления ее отказавшего элемента. При малых диаметрах теплопроводов систем теплоснабжения данного населенного пункта время ремонта теплосетей меньше допустимого перерыва теплоснабжения, поэтому резервирование не требуется.

Известно, что определение причин возникновения повреждений на тепловых сетях сводится к следующему:

- наличие «капели» с плит перекрытий каналов;
- наличие воды в канале или занос канала грунтом, когда вода или грунт достигают теплоизоляционной конструкции или поверхности трубопровода;
- коррозионные повреждения опорных металлоконструкций;
- коррозионно-опасное влияние постоянных блуждающих и переменных токов;
- ветхость оборудования.

Коррозионные процессы металла теплопроводов являются основной причиной повреждений труб в процессе эксплуатации и становятся результатом физико-химических воздействий окружающей среды на теплопроводы. Существенными факторами, определяющими коррозионную активность среды, являются структура, гранулометрический состав, влажность, воздухопроницаемость, окислительно-восстановительный потенциал, общая кислотность и общая щелочность почв и грунтов. Помимо почвенной коррозии, подземные теплопроводы подвержены электрокоррозии, вызываемой блуждающими токами, и внутренней коррозии.

Предполагается в связи с постепенной стабилизацией экономической ситуации в стране наращивать объемы замены ветхих сетей на предизолированные трубы в пенополиуретановой изоляции, которые способствуют снижению тепловых потерь и являются более энергоэффективными по сравнению с трубами в традиционной изоляции. Важной задачей является сведение к минимуму причин, способных спровоцировать повреждения.

К таким причинам прежде всего относятся:

- качество проектирования теплопроводов и средств их защиты от наружной коррозии;
- наличие сопутствующих инженерных сетей, их состояние и режимы работы;
- качество строительно-монтажных работ;
- наличие и эффективность средств защиты теплопроводов от постоянных блуждающих и переменных токов;
- эффективность комплекса эксплуатационных мероприятий, направленных на поддержание безопасных и надежных условий эксплуатации.

Рекомендуются два пути для создания надежных систем [4]. Первый путь — это повышение качества элементов, из которых состоит система; второй — резервирование элементов.

Повышают надежность, реализуя прежде всего первый путь. Но, когда исчерпываются технические возможности улучшения качества элементов или когда дальнейшее повышение качества оказывается экономически невыгодным, идут по второму пути. Второй путь необходим, когда надежность системы должна быть выше надежности элементов, из которых она состоит. Повышения надежности достигают резерви-

рованием. Для систем теплоснабжения применяют дублирование, а для тепловых сетей – дублирование, кольцевание и секционирование.

Предлагаются следующие средства повышения надежности существующих систем теплоснабжения:

- повышение качества элементов, из которых состоит система;
- секционирование тепловых сетей для сокращения времени восстановления отказавшего участка сети;
- резервирование – повышение надежности системы введением избыточности (дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения заданных функций теплоснабжения потребителей);
- техническое обслуживание – выполнение комплекса работ для поддержания работоспособности системы (систематическая диагностика состояния, поддержание благоприятных по условиям надежности режимов работы и т. д.);
- ремонт – комплекс работ для восстановления работоспособности системы (текущий, капитальный или аварийный).

Применение в качестве запорной арматуры шаровых кранов для бесканальной установки также повышает надежность системы теплоснабжения. Запорная арматура, установленная на ответвлениях тепловых сетей и на подводящих трубопроводах к потребителям, позволяет отключать аварийные участки с сохранением работоспособности других участков системы теплоснабжения.

Для обеспечения надежности системы теплоснабжения на источниках необходимо предусматривать установку котлов, производительность которых выбрана из расчета покрытия максимальных тепловых нагрузок в режиме наиболее холодного месяца при выходе одного котла из строя. Также на источниках предусматривается обработка подпиточной воды для снижения коррозионной активности теплоносителя и увеличения срока службы оборудования и трубопроводов.

Анализ динамики роста повреждаемости элементов теплосети в зависимости от проработанного времени показывает, что за последние пять лет явных изменений не произошло. Наличие резервирующих перемычек между котельными значительно повышает надежность магистральных тепловых сетей и обеспечивает надежность отопления и горячего водоснабжения районов многоэтажной застройки

При реализации представленных в статье мероприятий надежность работы системы теплоснабжения будет удовлетворять вышеуказанным требованиям.

Результаты расчетов для теплопроводов системы теплоснабжения г. Сердобска различных годов ввода в эксплуатацию приведены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3

Плотность отказов и вероятность безотказной работы тепловых сетей

Год ввода в эксплуатацию трубопровода	Плотность потоков отказов	Вероятность безотказной работы	Коэффициент, учитывающий старение участка теплосети
2020	0,00000003	0,99999997	1,000
2011	0,00000187	0,99999813	0,10958
1995	0,00004403	0,99995597	2,1516
1984	0,00012104	0,99987896	6,673
1979	0,00016123	0,99983877	8,9107
1976	0,00018468	0,99981532	10,18
1974	0,00022897	0,99977103	13,045
1971	0,00026697	0,99973303	13,0453
1970	0,00023442	0,99976558	13,0453

Расчеты показали высокую вероятность безотказной работы тепловых сетей и низкую плотность отказов.

Необходимо отметить следующие технологические особенности и проблемы в системах теплоснабжения и тепловых сетях г. Сердобска:

- 25 котельных установок, снабжающие теплом жилые здания, социально-культурные объекты и коммунально-бытовые предприятия, находятся в удовлетворительном состоянии. Они периодически подвергаются техническому освидетельствованию. Устаревшего котельного оборудования нет. Все котельные имеют резерв по тепловой мощности, поэтому необходимости в дополнительной установке котельного оборудования нет.

- На большинстве котельных установлено насосное оборудование отечественного производства не снабжено устройствами частотного регулирования его работы в зависимости от расхода теплоносителя.

- Новые модульные котельные работают в автоматизированном режиме без обслуживающего персонала и имеют качественную систему водоподготовки реагентного типа.

- Протяженность тепловых сетей (в двухтрубном исполнении) составляет 68,4 км, из них 19,86 км находятся в ветхом состоянии. Горячая вода транспортируется по наружным тепловым сетям общей протяженностью 38,4 км в двухтрубном исполнении. Из них нуждаются в замене в связи с окончанием срока службы 19,86 км сетей (29,0 %), в аварийном режиме эксплуатируется 0,8 км (2 %). Фактические тепловые потери через тепловую изоляцию (минеральная вата) превышают нормативные.

- Потребители тепла присоединяются к тепловым сетям непосредственно по зависимой схеме, что снижает надежность и качество их теплоснабжения. У потребителей отсутствуют автоматизированные индивидуальные тепловые пункты. Тепло в системах теплоснабжения распределяется неравномерно, велики потери горячей воды из системы. Дефицит тепла в отдельных домах приводит к перерасходу в потреблении электрической энергии.

- Почти 80 % потребителей централизованного теплоснабжения оборудованы приборами учета тепловой энергии. Эта работа продолжается и будет завершена в нормативные сроки.

- Существуют многоквартирные дома с большим процентом износа, подлежащие капитальному ремонту и переводу на автономное теплоснабжение.

Не решены вопросы по устройству в контрольных точках системы теплоснабжения города и абонентских узлов потребителей необходимых приборов КИПа, а также обеспечению нормативной температуры ГВС в отапливаемых объектах города. Необходима систематическая корректировка гидравлических режимов работы повысительных насосов. Имеет место недостаточный перепад давления между подающим и обратным трубопроводами в ряде конечных точек тепловых сетей.

Результаты проведенных исследований с использованием разработанной методики позволили:

- подготовить мероприятия, направленные на повышение энергоэффективности работы системы теплоснабжения на 8 % путем изменения гидравлического режима работы системы теплоснабжения;

- доказать целесообразность использования индивидуального отопления взамен строительства новых источников тепловой энергии, что повлечет за собой снижение отказов и инцидентов на 4 %.

Список литературы

1. Федеральный закон №190 «О теплоснабжении» от 27.07.2010 г.
2. Федеральный закон № 210 «Об основах регулирования тарифов организаций коммунального комплекса» от 30.12.2004 г.
3. СП 124.13330.2012 (актуализированная редакция СНиП 41-02-2003).
4. Аржаева, Н.В. Особенности проведения технического диагностирования тепловых сетей / Н.В. Аржаева, А.С. Михайлов, Л.А. Раевский // 75 лет строительному

образованию в г. Пензе: сб. материалов Всероссийской (национальной) научно-технической конференции». – Пенза, 2019. – С. 355–359.

5. Аржаева, Н.В. О необходимости разработки методики определения радиуса эффективного теплоснабжения / Н.В. Аржаева, В.А. Шейкин // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2019. – №6. – С.116–121.

6. Диксон, Дж. Проектирование систем: изобретательство, анализ, принятие решений / Дж. Диксон; пер. с англ. В.Г.Коваленко. – М.: Мир, 2009. – 440 с.

References

1. Federal law No. 190 «On Heat Supply» of 27.07.2010.

2. Federal law No. 210 «On the basics of tariff regulation of organizations of the municipal complex» of 30.12.2004.

3. SP 124.13330.2012 (updated version of SNiP 41-02-2003).

4. Arzhaeva, N.V. Features of technical diagnostics of heat networks / N.V. Arzhaeva, A.S. Mikhailov, L.A. Raevsky // 75 years of construction education in Penza: collection of materials of the All-Russian (national) scientific and technical conference". – Penza, 2019. – P. 355–359.

5. Arzhaeva, N.V. On the need to develop a methodology for determining the radius of effective heat supply / N.V. Arzhaeva, V.A. Sheikin // Education and science in the modern world. Innovation. – 2019. – No. 6. – P. 116–121.

6. Dixon, J. Designing systems: invention, analysis, decision-making / J. Dixon; translated from the English by V. G. Kovalenko. – M.: Mir, 2009. – 440 p.

УДК 628.33

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

Гришин Борис Михайлович,
доктор технических наук, профессор,
зав. кафедрой «Водоснабжение,
водоотведение и гидротехника»
E-mail: bgrishin@rambler.ru

Бикунова Марина Викторовна,
кандидат технических наук, доцент
кафедры «Водоснабжение, водоотведение
и гидротехника»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Ласьков Николай Николаевич,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Строительные
конструкции»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Пензенский государственный университет
Россия, 440026, г. Пенза, ул. Красная, 40,
тел.: (8412) 56-35-11; факс: (8421) 56-51-22

Перельгин Юрий Петрович,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Химия»
E-mail: pyp@pnzgu.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

Grishin Boris Mikhailovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Water Supply,
Sewerage and Hydraulic Engineering»
E-mail: bgrishin@rambler.ru.

Bikunova Marina Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor
of the department «Water Supply, Sewerage
and Hydraulic Engineering»
E-mail: mar-bikunova@yandex.ru

Laskov Nikolay Nikolaevich,
Doctor of Sciences, Professor, Head of the
department «Building Structures»
E-mail: stroyconst@pguas.ru

Penza State University
Russia, 440026, Penza, 40, Krasnaya St.,
tel.: (8412) 56-35-11; fax: (8421) 56-51-22

Perelygin Yuriy Petrovich, Doctor of
Technical Sciences, Professor, Head of the
department «Chemistry»
E-mail: pyp@pnzgu.ru

ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВИХРЕВОГО СМЕСИТЕЛЬНОГО УСТРОЙСТВА ФЛОТАЦИОННОЙ УСТАНОВКИ

Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Н.Н. Ласьков, Ю.П. Перельгин

Приведены формулы для нахождения основных технологических характеристик вихревого смесительного устройства (ВСУ), применяемого в целях получения высокодисперсных водовоздушных смесей, обеспечивающих повышение качества флотационной очистки производственных сточных вод. Основной целью расчёта является определение потерь давления Δp потока гидросмеси в стволе ВСУ, которые находятся с использованием уравнения баланса энергии в начальном и конечном сечениях устройства при заданных реологических характеристиках потока. Величина Δp наряду с характерными конструктивными параметрами ВСУ – диаметрами входной и выходной камер, гидравлическим радиусом и высотой ствола – определяет расчётные значения диссипации энергии потока и среднего диаметра диспергированных пузырьков воздуха в гидросмеси на выходе из ВСУ. Предлагаемый способ расчёта позволяет также найти требуемые характеристики насосного и компрессорного оборудования, входящего в состав флотационной установки.

Ключевые слова: производственные сточные воды, флотационная очистка, вихревое смесительное устройство, водовоздушная смесь, технологические параметры

EVALUATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF A VORTEX MIXING DEVICE OF A FLOTATION PLANT

B.M. Grishin, M. V. Bikunova, N.N. Laskov, Yu. P. Perelygin

Formulas are given for finding the main technological characteristics of a vortex mixing device (APU) used to obtain highly dispersed water-air mixtures that improve the quality of industrial wastewater flotation treatment. The main purpose of the calculation is to determine the pressure loss Δp of the slurry flow in the APU bore, which is found using the energy balance equation in the initial and final sections of the device, for given rheological flow characteristics. The value of Δp along with the characteristic design parameters of the APU (diameters of the inlet and outlet chambers, hydraulic radius and barrel height) determines the calculated values of the flow energy dissipation and the average diameter of dispersed air bubbles in the slurry at the exit from the APU. The proposed calculation method also allows to find the required characteristics of the pumping and compressor equipment, which is a part of the flotation unit.

Keywords: industrial wastewater, flotation treatment, vortex mixing device, water-air mixture, technological parameters

Флотационная очистка производственных сточных вод широко применяется в различных отраслях промышленности – машиностроении, производстве лекарственных препаратов и синтетических материалов, нефтепереработке, металлургии, обогащении полезных ископаемых. Существенным фактором, влияющим на степень извлечения примесей из сточных вод в процессе флотационной очистки, является дисперсный состав водовоздушной смеси [1-5]. Для получения высодисперсной газожидкостной смеси в состав флотационных установок включаются различные типы диспергаторов и смесительных устройств. Одним из наиболее перспективных устройств для диспергации воздушных пузырьков в воде являются вихревые смесительные устройства, используемые в технологиях физико-химической очистки сточных вод [6]. Вихревое смесительное устройство работает по принципу вихревого эжектора с тангенциальным вводом 1 водовоздушной смеси с крупными пузырьками воздуха во входную камеру 2 (см. рисунок). Во вращающемся с большей тангенциальной скоростью нисходящем потоке происходит интенсивный процесс диспергирования воздушных пузырьков в кольцевом зазоре между стволом 3 и центральным стержнем 4. Полученная таким образом тонкодисперсная смесь «вода-воздух» попадает в выходную камеру 5 и по трубопроводу 6 направляется на флотационную установку.

Нахождение технологических параметров ВСУ осуществляется с использованием гидравлического расчета. Уравнение баланса удельной энергии водовоздушного потока для сечений 1-1 и 2-2 относительно уровня 0-0 (см. рисунок), пренебрегая высотой b входной и выходной камер, запишем следующим образом:

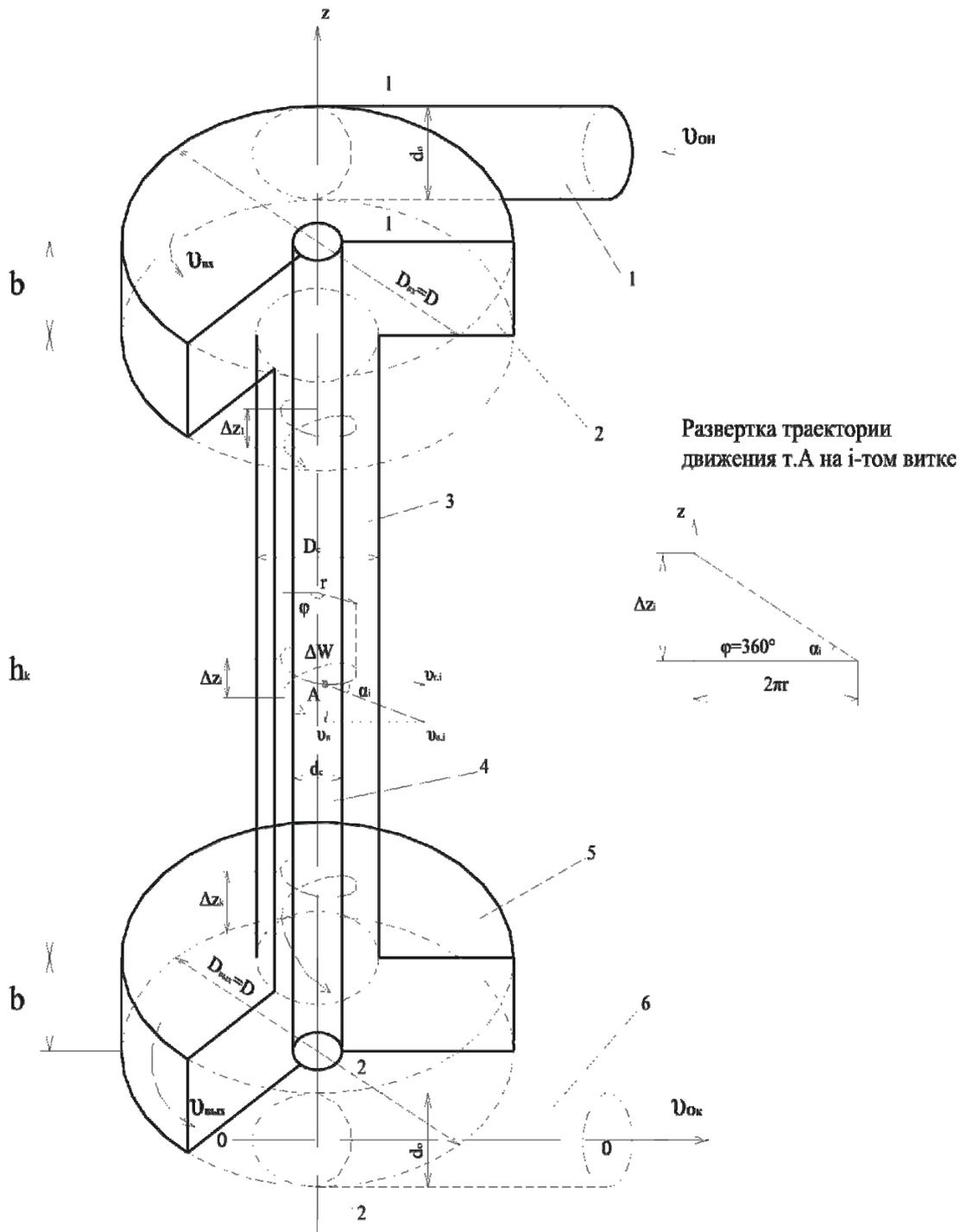
$$\frac{p_1}{\rho_c} + \frac{v_{\text{он}}^2}{2} + h_k g = \frac{p_2}{\rho_c} + \frac{v_{\text{ок}}^2}{2} + \frac{\Delta p}{\rho_c}, \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (1)$$

где p_1 и p_2 – давления в потоке водовоздушной смеси в сечениях 1-1 и 2-2, Па; $v_{\text{он}}$ и $v_{\text{ок}}$ – скорости потока в подающем и отводящем трубопроводах, м/с; h_k – высота ствола (вихревой камеры), м; ρ_c – плотность гидросмеси, кг/м³, являющаяся функцией плотности жидкой фазы и концентрации воздуха в гидросмеси; g – ускорение свободного падения, м/с²; Δp – потери давления в стволе, входной и выходной камерах, Па.

При равенстве диаметров подающего и отводящего трубопроводов скорости в них также равны $v_{\text{он}} = v_{\text{ок}}$ и давление на входе в ВСУ

$$p_1 = p_2 + \Delta p - \rho_c \cdot h_k \cdot g. \quad (2)$$

Потери давления Δp в стволе ВСУ влияют на величину диссипации энергии водовоздушного потока, от которой, в свою очередь, зависит средний размер диспергированных пузырьков воздуха.



Аксонметрическая схема вихревого смешительного устройства с траекториями движения элементарного объема водовоздушной смеси на различных участках ствола:

- 1 – подающий трубопровод; 2 – входная камера; 3 – ствол (вихревая камера); 4 – центральный стержень; 5 – выходная камера; 6 – отводящий трубопровод

Величина $\frac{\Delta p}{\rho_c}$ в уравнении (1) складывается из потерь удельной энергии за счет сопротивлений по длине, а также за счет местных сопротивлений. При $v_{он} = v_{ок} = v$

$$\frac{\Delta p}{\rho_c} = \lambda \frac{l_{вх}}{d_0} \frac{v^2}{2} + \lambda \frac{l_c}{4R} \frac{v_a^2}{2} + \lambda \frac{l_{вых}}{d_0} \frac{v^2}{2} + \zeta_{вх} \frac{v^2}{2} + \zeta_c \frac{v_a^2}{2} + \zeta_{вых} \frac{v^2}{2}, \text{ м}^2/\text{с}^2, \quad (3)$$

где λ – коэффициент гидравлического трения; $l_{\text{вх}}$ – длина траектории средней линии потока от сечения 1-1 входной камеры до линии сопряжения со стволом ВСУ, м; d_0 – диаметр подающего (или отводящего) трубопровода, м; l_c – длина траектории спиральной линии, по которой движется элементарный объем ΔW гидросмеси в кольцевом пространстве между центральным стержнем и стволом ВСУ, м; v_a – осредненная по высоте ствола относительная скорость поступательно-вращательного движения элементарного объема ΔW водовоздушной смеси в кольцевом пространстве внутри ствола ВСУ, м/с; R – гидравлический радиус кольцевого пространства внутри ствола ВСУ, м; $l_{\text{вых}}$ – длина траектории средней линии потока от линии сопряжения ствола ВСУ с выходной камерой до сечения 2-2, м; $\zeta_{\text{вх}}$, ζ_c , $\zeta_{\text{вых}}$ – соответственно коэффициенты местных сопротивлений во входной камере, стволе и выходной камере.

Скорость $v_{a,i}$ на i -м витке спиральной траектории движения элементарного объема ΔW определяется по соотношению (см. рисунок)

$$v_{a,i} = \sqrt{v_b^2 + v_{r,i}^2} = \sqrt{v_b^2 (1 + \operatorname{ctg}^2 \alpha_i)} = \frac{v_b}{\sin \alpha_i}, \quad (4)$$

где v_b – средняя продольная (осевая) скорость движения водовоздушного потока в кольцевом пространстве ствола, м/с; $v_{r,i}$ – средняя радиальная скорость движения на i -м витке спирали, зависящая от скорости $v_{\text{он}}$ и соотношения диаметров входной камеры и ствола ВСУ м/с; α_i – угол падения спиральной траектории на i -м витке, град.

Падение спирали на первом витке ($i=1$) составит (на радиусе r)

$$\Delta Z_1 = 2\pi r \cdot \operatorname{tg} \alpha_1, \quad (5)$$

а на последнем витке перед выходной камерой при ($i=\kappa$)

$$\Delta Z_\kappa = 2\pi r \cdot \operatorname{tg} \alpha_\kappa. \quad (6)$$

Градиент изменения угла α_i на элементарном участке ствола высотой ΔZ определяется коэффициентом

$$K_\alpha = \frac{\Delta \alpha_i}{\Delta Z}. \quad (7)$$

Гидравлический радиус кольцевого пространства внутри ствола ВСУ находится по соотношению

$$R = \frac{(D_c - d_c)}{4}, \quad (8)$$

где D_c и d_c – соответственно диаметры ствола ВСУ и центрального стержня, м, и является количественной характеристикой степени влияния конструктивных размеров ВСУ на степень диспергирования воздушных пузырьков.

Величина l_c в формуле (3) является функцией высоты ствола h_k и характера изменения угла α при движении элементарного объема гидросмеси ΔW по виткам спиральной траектории. В связи с влиянием гидравлических сопротивлений угол α непрерывно увеличивается от α_1 на первом витке до α_κ на последнем витке спиральной линии. С учетом формулы (7) можно записать

$$\alpha_i = \alpha_1 + \frac{\Delta \alpha_i}{\Delta Z} \cdot Z_i = \alpha_1 + K_\alpha \cdot Z_i, \quad (9)$$

где α_i – угол падения спирали на i -м витке, град; Z_i – расстояние по оси Z от входа потока в ствол ВСУ до рассматриваемой точки, расположенной на i -м витке, м.

Величина угла падения спиральной траектории потока на начальном участке ствола α_1 определяется в общем виде по формуле

$$\alpha_1 = \arctg\left(\frac{1}{K_v K_r}\right), \quad (10)$$

где K_r – геометрический коэффициент, равный отношению диаметров входной камеры $D_{вх}$ и ствола, $K_r = D_{вх}/D_c$, $K_r = 3-5$; K_v – коэффициент скорости, зависящий от соотношения величин $v_{вх}$ и $v_{г1}$ на входе потока в ствол ВСУ.

Предельная величина α_k , при превышении которой процесс диспергирования воздушных пузырьков становится недостаточно эффективным, определяется экспериментально. Задаваясь значениями углов α_1 , α_k и используя выражение, аналогичное (9) при $i=k$

$$\alpha_k = \alpha_1 + K_\alpha \cdot \kappa \cdot \Delta Z_{cp}, \quad (11)$$

где

$$\Delta Z_{cp} = \frac{\Delta Z_1 + \Delta Z_k}{2}, \quad (12)$$

находим количество витков спирали, при прохождении которых угол падения спиральной линии увеличивается от α_1 до α_k :

$$\kappa = \frac{\alpha_k - \alpha_1}{K_\alpha \cdot Z_{cp}}, \quad (13)$$

Величина ζ_c в формуле (3) определяется по соотношению

$$\zeta_c = \kappa \cdot A_1 \cdot B_1 \cdot C_1, \quad (14)$$

где A_1 , B_1 , C_1 – коэффициенты, зависящие от конструктивных параметров ВСУ ($D_{вх}$, D_c , d_c , b).

Численная оценка порядка величин сопротивлений, входящих в правую часть формулы (3) при количестве витков спирали $\kappa > 10$, позволяет сделать допущение, что потерями энергии по длине входной и выходной камер, а также местными потерями в данных камерах (первый, третий, четвертый и шестой члены в правой части формулы) можно пренебречь вследствие их малости. Тогда с учетом соотношений (8) и (14) формулу (3) можно записать в упрощенном виде

$$\frac{\Delta p}{\rho_c} = \left[\lambda \cdot \frac{l_c}{(D_c - d_c)} + \kappa \cdot A_1 \cdot B_1 \cdot C_1 \right] \cdot \frac{v_a^2}{2}. \quad (15)$$

Величина диссипации энергии потока в ВСУ находится в линейной зависимости от потерь давления

$$\varepsilon_0 = \frac{Q \cdot \Delta p}{\rho_c \cdot V}, \text{ м}^2/\text{с}^3, \quad (16)$$

где Q – расход газожидкостной смеси, $\text{м}^3/\text{с}$, определяемый из условия максимально допустимой скорости входа $v_{он}$ водовоздушной смеси в ВСУ, равной 2,5-3 м/с; V – объем ВСУ, м^3 .

Средний диаметр диспергируемых пузырьков воздуха в газовоздушной смеси на выходе из ВСУ можно определить по формуле М.А. Евилевича

$$d_n = 0,43 \left(\frac{\sigma}{\rho_{ж}} \right)^{0,6} \varepsilon_0^{0,4}, \quad (17)$$

где σ – коэффициент поверхностного натяжения на стенке пузырька воздуха, н/м; $\rho_{ж}$ – плотность жидкой фазы, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Таким образом, вычисляя значения Δp по (15), можно с использованием формул (16) и (17) определить величины диссипации энергии и среднего размера диспергированных пузырьков воздуха в объёме флотатора. Кроме того, формулы (2) и (15) позволяют найти требуемые рабочие давления насоса и компрессора, обеспечивающих подачу смеси воды и воздуха на ВСУ, а также оценить энергозатраты на осуществление процесса диспергирования пузырьков воздуха в ВСУ.

ВЫВОДЫ

1. Указаны аналитические зависимости для нахождения технологических характеристик работы вихревого смесительного устройства, обеспечивающие требуемую степень диспергирования воздушных пузырьков для флотационных установок при заданных реологических характеристиках гидросмеси и конструктивных параметров ВСУ.

2. Даны рекомендации по определению требуемых рабочих характеристик насосов для подачи жидкости, а также компрессорного оборудования, используемого для подачи сжатого воздуха в ВСУ флотационной установки.

Список литературы

1. Talvitie, J. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies / J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen, O. Setälä // *Water Research*. – 2017. – No.123. – P.401–407.
2. Saitoh, T. Rapid removal of tetracycline antibiotics from water by coagulation-flotation of sodium dodecyl sulfate and poly (allylamine hydrochloride) in the presence of Al(III) ions / T. Saitoh, K. Shibata, K. Fujimori, Y. Ohtani // *Separation and Purification Technology*. – 2017. – No.187. – P.76–83.
3. Yu, L. A review of treating oily wastewater / L. Yu, M. Han, F. He // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2017. – No.10. – P.1913–1922.
4. Etchepare, R. Nanobubbles: Generation using a multiphase pump, properties and flotation / R. Etchepare, H. Oliveira, M. Nicknig, A. Azevedo, J. Rubio // *Minerals Engineering*. – 2017. – No.112. – P.19–26.
5. Santana, R.K. Recovery and process water of effluent from metallurgical industry by association of dissolved air flotation and biodemulsifier / R.K. Santana, P.P.F. Brasileiro, L.A. Sarrubo, V.A. dos Santos // *Chemical Engineering Transactions*. – 2017. – No.57. – P.529–534.
6. Гришин, Б.М. Применение вихревых смесительных устройств в технологиях механической и физико-химической очистки сточных вод / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, Н.Н. Ласьков, Н.Г. Вилкова, Ю.П. Перельгин // *Региональная архитектура и строительство*. – 2016. – №2(27). – С. 112–117.

References

1. Talvitie, J. Solutions to microplastic pollution – Removal of microplastics from wastewater effluent with advanced wastewater treatment technologies / J. Talvitie, A. Mikola, A. Koistinen, O. Setälä // *Water Research*. – 2017. – No.123. – P.401–407.
2. Saitoh, T. Rapid removal of tetracycline antibiotics from water by coagulation-flotation of sodium dodecyl sulfate and poly (allylamine hydrochloride) in the presence of Al(III) ions / T. Saitoh, K. Shibata, K. Fujimori, Y. Ohtani // *Separation and Purification Technology*. – 2017. – No.187. – P.76–83.
3. Yu, L. A review of treating oily wastewater / L. Yu, M. Han, F. He // *Arabian Journal of Chemistry*. – 2017. – No.10. – P.1913–1922.
4. Etchepare, R. Nanobubbles: Generation using a multiphase pump, properties and flotation / R. Etchepare, H. Oliveira, M. Nicknig, A. Azevedo, J. Rubio // *Minerals Engineering*. – 2017. – No.112. – P.19–26.

5. Santana, R.K. Recovery and process water of effluent from metallurgical industry by association of dissolved air flotation and biodemulsifier / R.K. Santana, P.P.F. Brasileiro, L.A. Sarrubo, V.A. dos Santos // Chemical Engineering Transactions. – 2017. – No.57. – P.529–534.

6. Grishin, B.M. The use of vortex mixing devices in the technologies of mechanical and physicochemical wastewater treatment / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, N.N. Laskov, N.G. Vilкова, Yu.P. Pereygin // Regional architecture and engineering. – 2016. – No. 2 (27). – P. 112–117.

УДК 621.67:628.25

Калининградский государственный
технический университет

Россия, 236022, г. Калининград,
Советский пр., 1.

Наумов Владимир Аркадьевич,
доктор технических наук, зав. кафедрой
«Водные ресурсы и водопользование»
E-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru

Kaliningrad State Technical University

Russia, 236022, Kaliningrad, 1, Sovetskiy Ave

Naumov Vladimir Arkad'evich,
Doctor of Sciences, Head of the department
«Water Resources and Water Use»
E-mail vladimir.naumov@klgtu.ru

ВЛИЯНИЕ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕСА КАНАЛИЗАЦИОННОГО ПОГРУЖНОГО НАСОСА НА ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕЙ ТОЧКИ

В.А. Наумов

Получена безразмерная форма зависимости расхода от частоты вращения колеса центробежного насоса в рабочей точке. Снижение частоты позволяет уменьшить удельные энергетические затраты погружного канализационного насоса. Установлены критерии подобия и исследовано их влияние на безразмерный расход. Использование упрощенной аппроксимации нагрузочной характеристики может привести к существенной погрешности расчета.

Ключевые слова: канализационный погружной насос, частота вращения, рабочая точка, напор, подача, энергетическая эффективность

INFLUENCE OF WHEEL SPEED OF A SEWAGE SUBMERSIBLE PUMP ON PARAMETERS OF THE OPERATING POINT

V.A. Naumov

The dimensionless form of the flow rate dependence on the rotation speed of the centrifugal pump wheel at the operating point was obtained. Reducing the speed allows you to reduce the specific energy costs of the submersible sewage pump. The similarity criteria were established. Their influence on the dimensionless flow rate is investigated. The use of a simplified approximation of the load characteristic can lead to a significant calculation error.

Keywords: sewage submersible pump, rotation speed, operating point, pressure, supply, energy efficiency

1. Введение

Решение задач водоснабжения и водоотведения входит в приоритетные проблемы регионов России [1, 2]. Неотъемлемой частью решения таких задач является гидравлический расчет трубопроводных сетей [3, 4], включая выбор насосного оборудования и организацию его эффективного использования [5, 6]. Для повышения энергетической эффективности насосных установок в настоящее время широко применяется частотное регулирование.

Преобразователи частоты электрического тока позволяют плавно изменять частоту вращения рабочего колеса (ЧВРК) центробежного насоса (ЦН). Одним из главных преимуществ использования регулируемого электропривода ЦН является возможность адаптации его характеристик к характеристикам гидравлической сети. Технико-экономическая эффективность внедрения регулируемого электропривода ЦН зависит от большого количества факторов. Причем его применение в ЦН водопроводных и канализационных сетей далеко не всегда обеспечивает заметную экономию энергии [7–9].

Изучению влияния ЧВРК ЦН, используемых в различных отраслях, на параметры рабочей точки посвящено большое количество экспериментальных и теоретических исследований (см. [7–13] и библиографию в них). В работах Б.И. Лезнова ([8] и библиографию) был

предложен метод расчета параметров рабочей точки ЦН при изменении ЧВРК, основанный на упрощенной аппроксимации нагрузочной характеристики $H_p = \psi(Q)$. Возникающая погрешность при таком упрощении не оценивалась. Использование для аппроксимации функции $\psi(Q)$ квадратного трехчлена позволило получить зависимость расхода в рабочей точке Q_W от ЧВРК и ряда других параметров в размерной форме [10–12]. Однако размерная форма не дает возможности обобщить полученные результаты. Попытку [12] использовать относительные параметры следует признать не слишком удачной.

Целью данной статьи является вывод безразмерной формы зависимости параметров рабочей точки ЦН от ЧВРК, анализ влияния на них критериев подобия в общем виде и на примере погружных канализационных насосов (ПКН).

2. Материалы и методы

В качестве исходных данных были использованы рабочие характеристики погружных канализационных насосов (ПКН) компании Grundfos [14]. Насосы KSN с многоканальными рабочими колесами разработаны для перекачивания сточных вод в различных муниципальных, бытовых и промышленных системах. Результаты заводских испытаний одного из насосов этой компании показаны точками на рис. 1 и 2. В обозначении KSN3.230.800-12.5E: KSN – серия ПКН; 3 – трехканальное рабочее колесо ЦН; 230 – свободный проход ЦН (максимальный размер твердых включений в мм); 800 – номинальный диаметр напорного патрубка; 12 – количество полюсов электродвигателя; 5 – частота тока 50 Гц; E – сверхнизкий напор.

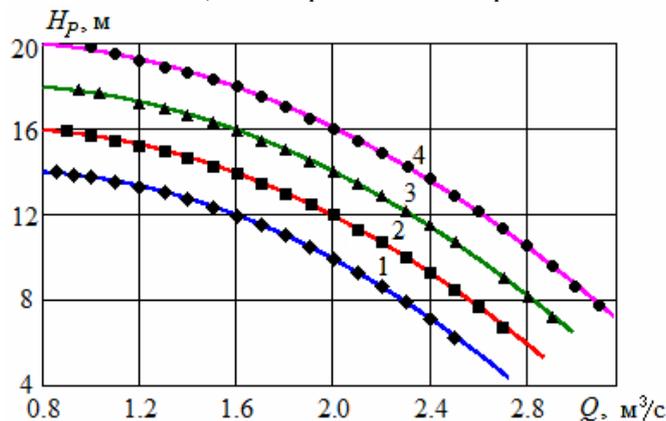


Рис. 1. Нагрузочная характеристика ПКН KSN3.230.800-12.5E ($n = 485$ об/мин) при разных диаметрах рабочего колеса:

1 – $D = 800$ мм, 2 – 830 мм, 3 – 860 мм, 4 – 880 мм.

Точки – экспериментальные данные [14], линии – результат расчета по формуле (2.2)

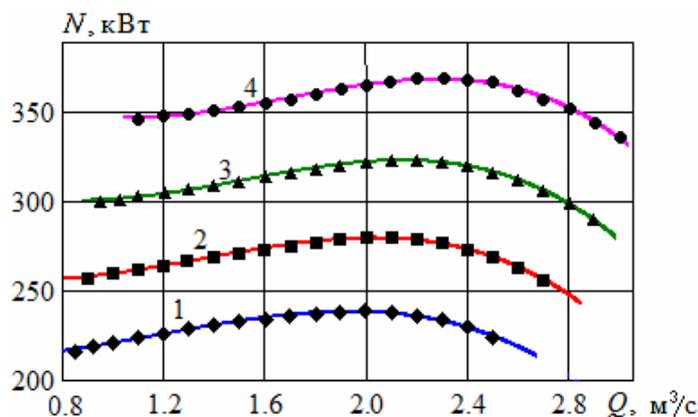


Рис. 2. Зависимость затраченной мощности от подачи ПКН KSN3.230.800-12.5E.

Точки – экспериментальные данные [14], линии – результат расчета по формуле (2.3).

Обозначения, как на рис. 1

ПКН серии KSN имеют особенность. Затраченная мощность у ПКН небольшой производительности является возрастающей функцией подачи, как это обычно указывается [3–5]. При номинальной подаче $1 \text{ м}^3/\text{с}$ и выше указанная функция имеет максимум (см. рис. 2).

Характеристика канализационного трубопровода была взята из [6]:

$$H_T = H_C + b \cdot Q^2, \quad (2.1)$$

где $H_C = 8,96 \text{ м}$ – статический напор; $b = 1,67 \text{ с}^2/\text{м}^5$ – обобщенный (размерный) коэффициент сопротивления трубопровода. Заметим, что величина b будет постоянной, если во всех элементах трубопровода реализована квадратичная область сопротивления, как, например, в [15].

При фиксированной ЧВРК зависимость напора H_P от подачи Q у ЦН хорошо аппроксимируется многочленом второго порядка, затраченной мощности N от подачи – третьего [5, 6]:

$$H_P = H_0 + a_1 Q + a_2 Q^2, \quad (2.2)$$

$$N = N_0 + c_1 Q + c_2 Q^2 + c_3 Q^3. \quad (2.3)$$

Переход на другую ЧВРК приводит к изменению рабочих характеристик ЦН. Пересчет характеристик насоса с номинального значения ЧВРК n_n на некоторое n_n выполняют, как правило, по известным формулам приведения [5]:

$$\frac{Q}{Q_n} = m, \quad \frac{H}{H_n} = m^2, \quad \frac{N}{N_n} = m^3, \quad m = \frac{n}{n_n}, \quad (2.4)$$

где m – относительная ЧВРК, индексом « n » помечены параметры ЦН в номинальном режиме.

Из формул (2.4) следует постоянство КПД ЦН η в подобных режимах. Опубликованные результаты экспериментальных исследований хорошо согласуются с результатами расчетов по первым двум формулам (2.4). Тогда как пересчет затраченной мощности может привести к отклонениям от третьей формулы (2.4). На практике такое отклонение учитывают поправкой к КПД: $\eta/\eta_n = f(m, \eta_n)$. В данной статье воспользуемся поправкой [13]:

$$f(m, \eta_n) = (1 - (1 - \eta_n) \cdot m^{-0,25}) / \eta_n. \quad (2.5)$$

Заметим, что по формуле (2.5) при $m = 0,75$ снижение КПД ПКН KSN3.230.800 составляет всего 1,2 %, а при $m = 1,25$ – повышение на 0,9 %.

Первые две формулы (2.4) позволяют получить из (2.2) зависимость напорной характеристики ЦН от ЧВРК (рис. 3):

$$H_P = \left(H_0 + a_1 \cdot \left(\frac{Q}{m} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{Q}{m} \right)^2 \right) \cdot m^2. \quad (2.6)$$

Чтобы рассчитать параметры рабочей точки, приравняем (2.1) и (2.6), запишем квадратное уравнение:

$$a_3 \cdot Q^2 - a_1 \cdot m \cdot Q - (H_0 m^2 - H_C) = 0, \quad a_3 = b - a_2. \quad (2.7)$$

Положительный корень (7) дает зависимость расхода в рабочей точке от m :

$$Q_W(m) = \frac{a_1 m + \sqrt{(a_1 m)^2 + 4a_3 \cdot (H_0 m^2 - H_C)}}{2a_3}. \quad (2.8)$$

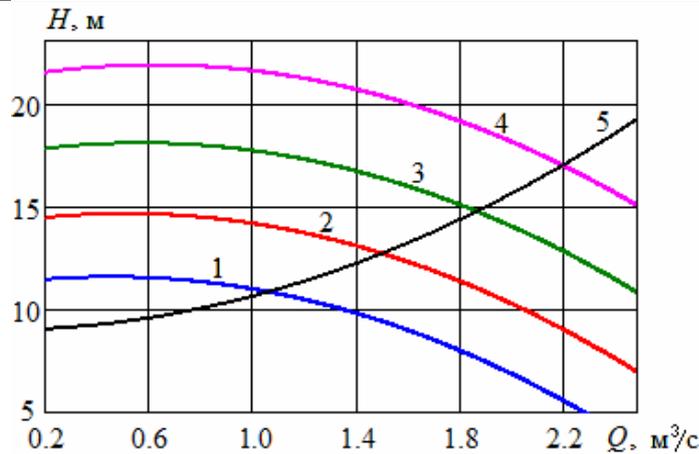


Рис. 3. Влияние ЧВРК на положение рабочей точки насосной установки:

1 – напорная характеристика ПКН KSN3.230.800-12.5E ($D = 860$ мм) при $n = 388$ об/мин, 2 – $n = 435$ об/мин, 3 – $n = 485$ об/мин, 4 – $n = 533$ об/мин; 5 – характеристика трубопровода (2.1)

Размерная форма решения (2.8) используется в [10, 11]. Приведем расход к безразмерной форме, поделив (2.8) на значение при номинальной частоте ($m=1$):

$$q \equiv \frac{Q_w(m)}{Q_w(1)} = \varphi(m, \alpha, h) = \frac{\alpha \cdot m + \sqrt{m^2(\alpha^2 + 1) - h}}{\alpha + \sqrt{\alpha^2 + 1 - h}}, \quad (2.9)$$

$$h = \frac{H_c}{H_0}, \quad \alpha = \frac{a_1}{2\sqrt{a_3 H_0}}.$$

По физическому смыслу задачи m является безразмерным аргументом, α и h – критериями подобия. Диапазон изменения $0 < h < 1$; α может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Если положить $a_1 = 0$, то из (2.9) следует формула, используемая в [8]:

$$Q_w(m) = \sqrt{\frac{H_0 m^2 - H_c}{a_3}}, \quad q(m) = \sqrt{\frac{m^2 - h}{1 - h}}. \quad (2.10)$$

Однако условия, при которых возможно упрощение (2.10), необходимо оценить, главным образом, по величине α .

3. Результаты и обсуждение

На рис. 4 и 5 представлены результаты расчета безразмерного расхода при изменении ЧВРК, а также значений критериев подобия α и h . Графики, подобные рис. 4, приведены в [8], но только при $\alpha=0$. По рис. 5, если $m = 0,85$, то при $\alpha=0$ безразмерный расход 0,27, а при $\alpha=0,35$ $q=0,63$, т.е. больше в 2,3 раза.

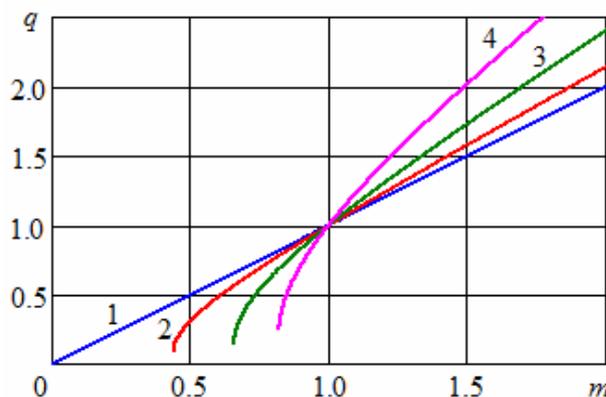


Рис. 4. Изменение безразмерного расхода от ЧВРК при $\alpha = 0,2$ и различных значениях h ;
1 – $h = 0$; 2 – $h = 0,2$; 3 – $h = 0,45$; 4 – $h = 0,7$

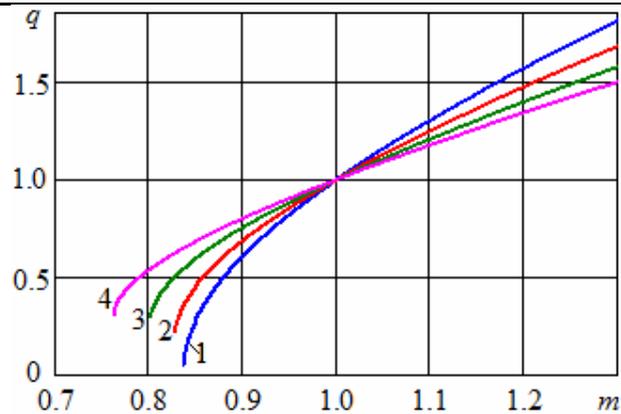


Рис. 5. Изменение безразмерного расхода от ЧВРК при $h = 0,7$ и различных значениях α :
1 – $\alpha = 0$; 2 – $\alpha = 0,15$; 3 – $\alpha = 0,3$; 4 – $\alpha = 0,35$

Из условия, что выражение под корнем в числителе (2.9) не может быть отрицательным, найдем минимальную теоретическую частоту при данных условиях и соответствующий ей безразмерный расход:

$$m_{\min} = \sqrt{\frac{h}{\alpha^2 + 1}}, \quad q_{\min} = \varphi(m_{\min}, \alpha, h). \quad (3.1)$$

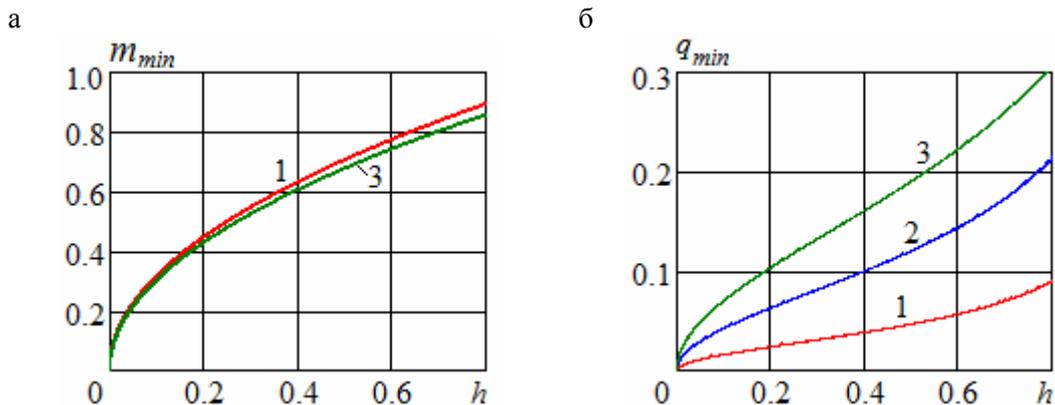


Рис. 6. Изменение минимальной безразмерной ЧВРК ЦН (а) и расхода (б) при различных значениях α :
1 – $\alpha = 0,05$; 2 – $\alpha = 0,15$; 3 – $\alpha = 0,3$

Заметим, что формулы (2.9), (3.1) и построенные по ним графики на рис. 4–6 справедливы для любых ЦН. Нужно только учесть, что в реальных насосах при уменьшении ЧВРК может произойти нарушение зависимости (2.2) раньше, чем будет достигнуто значение m_{\min} , найденное по формуле (3.1).

Рассчитаем значения критериев подобия для ПКН KSN3.230.800-12.5E. Для этого требуются величины коэффициентов в формулах (2.1), (2.2). Они были получены методом наименьших квадратов по экспериментальным данным [14] (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Результаты расчета параметров ПКН KSN3.230.800-12.5E

D , мм	H_0 , м	a_1 , с/м ²	a_2 , с ² /м ⁵	α	h
800	13,13	2,828	-2,221	0,351	0,682
830	15,27	2,483	-2,080	0,255	0,578
860	17,41	2,245	-1,977	0,202	0,515
880	19,59	1,940	-1,856	0,158	0,457

Применим полученные общие формулы для расчета параметров рабочей точки ПКН KSN3.230.800-12.5E (табл. 2). Затраченная мощность насоса рассчитывалась с учетом поправки (2.5): $N = N_n \cdot m^3 / f(m, \eta_n)$.

Т а б л и ц а 2

Параметры рабочей точки ПКН KSN3.230.800-12.5E ($D = 880$ мм)
при изменении ЧВРК

n , об/мин	m	Q , м ³ /с	H , м	N , кВт	η	E , кДж/м ³
364	0,75	0,998	10,62	140,5	0,695	140,8
388	0,8	1,251	11,57	182,7	0,776	146,1
365	0,9	1,669	13,61	264,6	0,841	158,5
485	1,0	2,033	15,86	365,4	0,865	179,7
533	1,1	2,370	18,34	486,9	0,874	205,4
582	1,2	2,691	21,04	631,4	0,879	234,7

Во многих публикациях (см., например, [16]) показано, что энергетическую эффективность насосного оборудования систем водоснабжения и канализации следует оценивать по удельным энергозатратам $E=N/Q$. Действительно, по табл. 2 видно, что снижение ЧВРК приводит к улучшению показателя E в рабочей точке, тогда как КПД уменьшается.

Заключение

Таким образом, получена безразмерная форма зависимости расхода от ЧВРК ЦН в рабочей точке. Установлены критерии подобия и исследовано их влияние на безразмерный расход. Предположение, что $\alpha=0$, может привести к существенной погрешности расчета. Показано, что при снижении ЧВРК ПКН уменьшаются энергетические затраты на перекачивание одного кубометра жидкости в рабочей точке.

Список литературы

1. Проблемы водоснабжения населенных пунктов и предприятий пищевой промышленности Северо-Западного региона России / Е.Н. Кальсина, М.В. Бикунова, С.М. Салмин, И.А. Хорева // Уральский научный вестник. – 2018. – Т. 9, № 1. – С. 38–40.
2. Великанов, Н.Л. Информация по водоотведению в крупных городах России / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, С.И. Корягин // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2020. – № 2(52). – С. 21–26.
3. Калицун, В.И. Гидравлика, водоснабжение и канализация / В.И. Калицун, В.С. Кедров. – М.: Стройиздат, 2002. – 394 с.
4. Гришин, Б.М. Гидравлика сетей и сооружений водоснабжения и водоотведения / Б.М. Гришин, М.В. Бикунова, М.А. Сафронов. – Пенза: Изд-во ПГУАС, 2019. – 112 с.
5. Карелин, В.Я. Насосы и насосные станции / В.Я. Карелин, А.В. Минаев. – М.: Стройиздат, 1986. – 320 с.
6. Великанов, Н.Л. Обобщенные характеристики канализационных насосов высокой производительности / Н.Л. Великанов, В.А. Наумов, Л.В. Примаков // Механизация строительства. – 2017. – Т. 78, № 10. – С. 32–36.
7. Николаев, В.Г. Анализ энергоэффективности различных способов управления насосными установками с регулируемым приводом / В.Г. Николаев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – № 11-2. – С. 6–16.
8. Лезнов, Б.С. Частотно-регулируемый электропривод насосных установок / Б.С. Лезнов. – М.: Машиностроение, 2013. – 176 с.
9. Усачев, А.П. Методика оценки эффективности частотного регулирования насосных агрегатов КНС / А.П. Усачев // Водоснабжение и санитарная техника. – 2020. – № 1. – С. 42–51.
10. Сташинов, Ю.П. К пересчету рабочих характеристик шахтных центробежных насосов при изменении частоты вращения рабочих колес / Ю.П. Сташинов, Д.А. Боченков // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. – 2013. – № 5. – С. 14–16.

11. Khayatzadeh, F. Dynamical modeling of frequency controlled variable speed parallel multistage centrifugal pumps / F. Khayatzadeh, J. Ghafouri // *Archive of Mechanical Engineering*. – 2015. – Vol. 62, No. 3. – P. 347–361.
12. Николенко, И.В. Анализ энергоэффективности частотного регулирования по относительным параметрам силовых агрегатов насосных станций и водопроводных сетей систем водоснабжения / И.В. Николенко // *Строительство и техногенная безопасность*. – 2019. – № 14(66). – С. 101–111.
13. Горлов, А.Е. Влияние частоты вращения вала на изменение КПД высокооборотных насосов при стендовых и промышленных испытаниях / А.Е. Горлов // *Экспозиция. Нефть. Газ*. – 2020. – № 2. – С. 43–46.
14. Grundfos. Канализационные погружные насосы KSN: каталог. – 56 с. – URL: <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogs.html> (дата обращения: 22.03.2021).
15. Андреев, С.Ю. Новая методика гидравлического расчета трубчатых смесительных устройств, работающих в области квадратичного закона сопротивления / С.Ю. Андреев, И.А. Гарькина, В.А. Князев // *Региональная архитектура и строительство*. – 2017. – № 2. – С. 132–140.
16. Фисенко, В.Н. Энергетическая эффективность насосов в системах водоснабжения и водоотведения / В.Н. Фисенко // *Водоснабжение и санитарная техника*. – 2018. – № 6. – С. 52–56.

References

1. The problem of water supply of settlements and enterprises of the food industry of the North-Western region of Russia / E.N. Kalsin, M.V. Bakunova, S. M. Salmin, I.A. Khoreva // *Ural scientific Bulletin*. – 2018. – Vol. 9, No. 1. – P. 38–40.
2. Velikanov, N.L. Information on drainage in major cities in Russia / N.L. Velikanov, V.A. Naumov, S.I. Koryagin // *Technical-technological problems of the service*. – 2020. – No. 2(52). – P. 21–26.
3. Kalitsun, V.I. *Hydraulics, water supply and sewerage* / V.I. Kalitsun, V.S. Kedrov. – M.: Stroyzdat, 2002. – 394 p.
4. Grishin, B.M. *Hydraulics of networks and structures of water supply and sanitation* / B.M. Grishin, M.V. Bikunova, M.A. Safronov. – Penza: PGUAS Publishing House, 2019. – 112 p.
5. Karelin, V.Ya. *Pumps and pumping stations* / V.Ya. Karelin, A.V. Minaev. – M.: Stroyizdat, 1986. – 320 p.
6. Velikanov, N.L. Generalized characteristics of high-performance sewage pumps / N.L. Velikanov, V.A. Naumov, L.V. Primak // *Mechanization of construction*. – 2017. – Vol. 78, No. 10. – P. 32–36.
7. Nikolaev, V.G. Analysis of energy efficiency of various methods of control of pumping installations with an adjustable drive / V.G. Nikolaev // *Water supply and sanitary engineering*. – 2006. – No. 11-2. – P. 6–16.
8. Leznov, B.S. Frequency-controlled electric drive of pumping units / B.S. Leznov. – M.: Mashinostroenie, 2013 – 176 p.
9. Usachev, A.P. Methodology for evaluating the efficiency of frequency regulation of pumping units of the KNS / A.P. Usachev // *Water supply and sanitary engineering*. – 2020. – No. 1. – P. 42–51.
10. Stashinov, Yu.P. To recalculate the operating characteristics of shaft centrifugal pumps when changing the speed of rotation of the operating wheels / Yu.P. Stashinov, D.A. Bochenkov // *Izvestiya vuzov. North-Caucasian region*. – 2013. – No. 5. – P. 14–16.
11. Khayatzadeh, F. Dynamic modeling of frequency controlled variable speed parallel multistage centrifugal pumps / F. Khayatzadeh, J. Ghafouri // *Archive of Mechanical Engineering*. – 2015. – Vol. 62, No. 3. – P. 347–361.
12. Nikolenko, I.V. Analysis of energy efficiency of frequency regulation by relative parameters of power units of pumping stations and water supply networks of water supply

systems / I.V. Nikolenko // Construction and industrial safety. – 2019. – No. 14(66). – P. 101–111.

13. Gorlov, A.E. Influence of shaft rotation frequency on the change in the efficiency of high-speed pumps during bench and field tests / A.E. Gorlov // Exposition. Oil. Gaz. – 2020. – No. 2. – P. 43–46.

14. Grundfos. Sewer submersible pumps KSN: catalog – 56 p. – URL: <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogs.html> (accessed: 22.03.2021).

15. Andreev, S.Yu. New method of hydraulic calculation of tubular mixing devices operating in the field of the quadratic law of resistance / S.Yu. Andreev, I.A. Garkina, V.A. Knyazev // Regional Architecture and Engineering. – 2017. – No. 2. – P. 132–140.

16. Fisenko, V.N. Energy efficiency of pumps in water supply and drainage systems / V.N. Fisenko // Water supply and sanitary equipment. – 2018. – No. 6. – P. 52–56.

УДК 519.7:378.1

Московский политехнический университет
Россия, 107023, г. Москва,
ул. Б.Семёновская, д. 38

Будылина Евгения Александровна,
кандидат физико-математических наук,
доцент кафедры «Инфокогнитивные
технологии»
E-mail: bud-ea@yandex.ru

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

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

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

Moscow Polytechnic University
Russia, 107023, Moscow,
38, B.Semenovskaya St.

Budylna Eugenia Aleksandrovna,
Candidate of Physical and Mathematical
Sciences, Associate Professor of the
department «Infocognitive Technologies»
E-mail: bud-ea@yandex.ru

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

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

Danilov Aleksander 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

СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ: ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ, МОНИТОРИНГ, УПРАВЛЕНИЕ

Е.А. Будылина, И.А. Гарькина, А.М. Данилов

Определены основы системного подхода к разработке методологических принципов идентификации, синтеза и управления сложных систем. Рассматриваются некоторые проблемы управления сложными системами: взаимоотношения параметрической идентификации, мониторинга и управления. Основное внимание уделяется оценке функционирования сложных организационных систем на основе количественных показателей работы целостной системы. Анализируются влияние законов Гудхарта, Кэмпбелла и др. Указываются их проявления в системе высшего образования: при улучшении научных показателей, учитываемых специальными рейтингами, показатели теряют свою первоначальную индикативную эффективность и порождают различные злоупотребления. Показывается, методики составления рейтингов должны быть непрозрачными, что делает невозможным воспроизведение и предсказание результатов рейтинга.

Ключевые слова: сложная система, системный подход, параметрическая идентификация, мониторинг, управление, организационная система

COMPLEX SYSTEMS: PARAMETRIC IDENTIFICATION, MONITORING AND CONTROL

E.A. Budylna, I.A. Garkina, A.M. Danilov

The foundations of a system approach to the development of methodological principles for identification, synthesis and management of complex systems are considered. Some problems of managing complex systems are considered: the relationship of parametric identification, monitoring and control. The main attention is paid to assessing the functioning of complex organizational systems based on quantitative indicators of the work of an integral system. The influence of the laws of

Goodhart, Campbell and others is analyzed. Their manifestations in the higher education system are indicated: with the improvement of scientific indicators taken into account by special ratings, the indicators lose their initial indicative effectiveness and give rise to various abuses. It is shown that the rating compilation methods should be non-transparent, which will make it impossible to reproduce and predict the rating results.

Keywords: complex system, system approach, parametric identification, monitoring, management, organizational system

Оценка деятельности вуза и его подразделений традиционно производится с использованием *количественных показателей* работы целостной образовательной системы. Однако редко она рассматривается как сложная система с соответствующими системными атрибутами [1, 2]. Ей присущ *ряд неопределенностей*: многокритериальность (неопределенность *целей*; стратегия вуза определяется на основе векторной целевой функции), стратегия и тактика вышестоящих организаций (неопределенность *знаний об окружающей обстановке*), неопределенность *действий конкурентов* (других вузов). *Одновременная оптимизация по всем критериям принципиально невозможна* [3, 4]. Неслучайно постоянно меняются критерии, используемые при мониторинге вузов. Рейтинговая оценка деятельности ППС, кафедр, институтов (факультетов), естественно, должна соответствовать методике оценки эффективности вузов *вышестоящей организацией*. *Образовательная система должна обеспечить реализацию программ, определяемых надсистемой: «... без экономики нет науки, без науки нет экономики; задача государства – разорвать этот порочный круг» (В.И. Арнольд).*

Основополагающим моментом в университетских рейтингах является *закон Ч.Гудхарта (Charles Goodhart's Law, [5])*: *«Когда мера становится целью, она перестает быть хорошей мерой»*. Любая попытка контролировать экономическую переменную может исказить эту переменную настолько, что сделает контроль неэффективным; модель риска разрушается, если ее использовать с целью регулирования. Его аналогом является *закон Д.Кэмпбелла (Donald T. Campbell, [6, 7])*: *«... введение любых критериев, индикаторов, по которым оценивается работа того или иного института, неизбежно приводит к искажению — как самих индикаторов, так и тех процессов, которые он оценивает»*. Как правило, рейтинги являются открытыми, методики предлагаются для ознакомления общественности, что провоцирует университеты подстраиваться под фигурирующие в них показатели; рейтинги превращаются в феномен, искажающий естественные стратегии вузов.

Чем больше количественный социальный индикатор используется для принятия решения по изменениям в обществе, тем больше он будет подвержен искажению (чем больше количественный социальный индикатор используется для принятия решения, тем больше он будет искажать социальные процессы, которые подлежат мониторингованию). По Кэмпбеллу *«... чем больше используются количественные индикаторы в регулировании социальных процессов, тем больше они подвержены искажающим влияниям, тем больше в них нарушаются качественные аспекты»*. *Важно измерять прогресс, используя количественные и качественные показатели*. Использование только количественных данных для оценки может исказить показатели и повлиять на них. Закон Гудхарта фактически дает фундаментальное утверждение о *неэффективности государственного регулирования: объект управления со временем адаптируется к регулирующим воздействиям и не описывается разработанной для него системой оценочных критериев*; по Пауло Коэльо (Paulo Coelho): *«В тот самый миг, когда я нашел верные ответы, переменились все вопросы»*. По Кэмпбеллу, *«количественный социальный индикатор, используемый для принятия социальных решений, подвергается коррупционному давлению и может исказить и повредить социальные процессы, которые он призван отслеживать»*.

Очевидны *проявления закона Кэмпбелла и в системе высшего образования*: искажения, связанные с ориентацией на количественные индикаторы; планирование количества иностранных студентов без учета их обучаемости, планирование количества новейшей учебной литературы, планирование количества массовых меро-

приятий и т.п. Среди университетов ведется борьба за увеличение различных показателей: количество докторов наук, количество научных публикаций и цитирований, финансирование научных исследований, количество абитуриентов с высокими выпускными баллами, обеспеченность литературой, площадь учебных аудиторий и т.д. Борьба за количество – неперенная черта существования университетов (большинство рейтингов вузов основывается именно на метрических показателях). *Получаемые студентами оценки в вузах привязаны к сохранности контингента. Душевое финансирование приводит к болезненной реакции на отчисление студентов. Требование лояльности к студентам фактически прикрывается требованиями внедрения новых образовательных технологий, интерактивных методов и т.п.* Неудача студента рассматривается как педагогическая неудача, неумение заинтересовать студента в изучаемом материале. По Д. Кэмпбеллу, основным фактором деформаций в системе образования является экзаменационная *тестовая* оценка: когда результаты тестов становятся целью учебного процесса, они теряют свою ценность как индикаторы образовательного статуса и искажают образовательный процесс. *Оценка может использоваться как средство, с помощью которого обозначается уровень знания, а может быть целью, достижение которой не обязательно предполагает наличие соответствующих компетенций.*

Университет как сложную систему описать набором легко измеримых индикаторов вряд ли получится. Правда, закон Гудхарта лишь постулирует появление искажений при попытке навязать рейтинговые оценки, а конкретные механизмы уникальны в каждом отдельном случае. Работа университетов над улучшением показателей фактически свидетельствует лишь о формальной адаптации к существующей системе оценки. Для наукометрических показателей закон Гудхарта определяется в форме Арнольда – Фаулера (Arnold – Fowler): «...когда достижение некоторого индикатора (показателя) становится целью, он перестает быть хорошим индикатором (показателем)»; при улучшении научных показателей, учитываемых специальными рейтингами, эти показатели теряют свою первоначальную индикативную эффективность и порождают различные злоупотребления.

Важное замечание: закон Гудхарта не устанавливает явной связи между конкретными переменными и оперирует категориями, которые в реальной жизни нельзя строго измерить и оценить; здесь постулируется лишь *факт возникновения искажений без указания порождающих их механизмов.* Фактически речь идет не о законе Гудхарта, а об *эффекте Гудхарта* (нами сохраняется устоявшаяся традиция).

Уточнением закона Гудхарта является так называемая *волна де Брюйна* (H. de Bruijn, [7]): «...чем больше руководство полагается на количественную систему оценки эффективности, тем сильнее стимулы для работников демонстрировать некорректное поведение: как только появляются стимулы попасть в первые позиции рейтинга и получить за это материальное вознаграждение, вся система рейтингования претерпевает серьезные искажения». Чтобы этого не происходило, *методики составления рейтингов должны быть непрозрачными. Это делает невозможным воспроизведение и предсказание результатов рейтинга и блокирует действие закона Гудхарта.*

Ясно, любая модель или система оценки индикаторов гораздо беднее изучаемой социальной системы: *между разными параметрами сложной системы существуют устойчивые связи, которые при взятии какого-то показателя под контроль практически неизбежно разрушаются. Гонка за рейтингом приводит к появлению избыточных механизмов, которые не делают систему совершеннее, зато дают искажения.*

Уровень подготовки специалистов в вузах определяется востребованностью выпускников на рынке труда. По И.В.Прангишвили, «... когда внешней средой наука не востребована, то по этому свойству система изолирована или закрыта, и только тогда, когда появится потребитель во внешней среде, система откроется».

Решение многокритериальной задачи по повышению качества образования практически невозможно без использования системных методологий: образовательная система в целом, равно как и отдельная дисциплина, есть сложные системы с присущими им механизмами взаимодействия со средой, иерархичностью системы, многоаспект-

ностью описания системы как *целостности*. Образовательный процесс должен основываться на совокупности обобщенных положений, определяющих место узлов (центральных мест) в изучаемой дисциплине для формирования компетенций, а траектория обучения определяться по связям между узлами.

Разработка образовательной системы предполагает *наличие четкой иерархии критериев* для оценки качества образования. На *первом уровне* иерархии при системном подходе будут: инновации в содержании образования, в методиках, технологиях, методах, приемах, средствах учебно-воспитательного процесса; организация учебно-воспитательного процесса; управление вузом; источники финансирования. На *втором уровне* – объемы преобразований: локальные, единичные, модульные, системные и т.д. В соответствии с введенной иерархией критериев и выделенными рациональными комплексами решаемых задач и должна строиться иерархия всей образовательной системы. Системный подход к образовательной системе неминуемо станет основой формирования нового системного мышления, определяющего содержание, формы и методы обучения; знания, подлежащие усвоению, должны рассматриваться в единстве с формирующей их деятельностью (компетентностный подход, [8, 9]). *Нельзя серьезно говорить о качестве образования без существенного повышения уровня фундаментальной подготовки выпускников вузов*: острой проблемой является резкое уменьшение числа молодых специалистов, желающих заниматься теоретическими исследованиями. Системное мышление позволит и студенту ориентироваться в нарастающем потоке знаний, даст возможность избирательного выбора знаний и их интеграции для решения проблем в рамках выбранной специальности.

При идентификации (определение модели образовательной системы *при неполной информации*), синтезе (*построение системы управления по модели*, которой она описывается) и управлении (*внутренние функции*) должны учитываться реально сложившиеся, а не *нормативные составляющие системы* (организация, структура, штатное расписание и т.д.). Идентификация, синтез, использование знаний о системе зависят от структуры целостной системы, разрабатываемых алгоритмов функционирования и управления (*принятие решений*). *Задача практически не может быть решена в рамках какой-либо одной, даже очень сложной, модели: нужна система моделей (обобщенная модель)*. *Базой для формирования взаимосвязанных направлений синтеза является построение моделей, распределенных по системообразующим классам*.

Эволюция само- и управляемого развития в направлении заданной цели, естественно, всегда будет проводиться на уровне когнитивного моделирования; входными параметрами будут базисные факторы, тенденции их изменения и взаимовлияния. *Любые новые технологии обучения должны предусматривать сохранение основных составных компонент традиционного обучения*. При этом региональные вузы должны стать центрами организации дополнительного образования с учетом структуры региональных рынков труда.

Выводы

Предложены основы системного подхода при определении методологических принципов идентификации, синтеза и управления к разработке образовательной системы. Исходными предпосылками разработки образовательной системы определены связи между экономикой, наукой и образованием.

Список литературы

1. Данилов, А.М. Вуз как система / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, А.А. Киселев // Региональная архитектура и строительство. – 2015. – № 3 (24). – С. 138–142.
2. Гарькина, И.А. Системный подход к повышению качества образования / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // Вестник Костромского государственного университета им. Н.А. Некрасова. Серия: Педагогика. Психология. Социальная работа. Ювенология. Социокинетика. – 2013. – Т. 19, № 4. – С. 4–7.

3. Гарькина, И.А. Формальные методы при моделировании и идентификации организационных систем / И.А. Гарькина, А.М. Данилов, О.В. Волкова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2013. – № 6. – С. 548.
4. Гарькина, И.А. Когнитивное моделирование образовательной системы / И.А. Гарькина, А.М. Данилов // *Вестник Костромского государственного университета*. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2019. – Т. 25, № 2. – С.6–10.
5. Goodhart, C. Problems of Monetary Management: The UK experience / C. Goodhart // *Papers in Monetary Economics*. – 1975. – Vol. 1. – P. 111–144.
6. Балацкий, Е.В. Глобальные рейтинги университетов: проблема манипулирования / Е.В. Балацкий, Н.А. Екимова // *Журнал новой экономической ассоциации*. – 2012. – № 1 (13). – С. 126–146.
7. Де Брюйн, Х. Управление по результатам в государственном секторе / Х. Де Брюйн. – М.: Институт комплексных стратегических исследований, 2005. – 192 с.
8. Данилов, А.М. Междисциплинарные связи при компетентностном подходе к подготовке бакалавров / А.М. Данилов, И.А. Гарькина, И.В. Маркелова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2014. – № 3. – С. 188.
9. Гарькина, И.А. Реализация компетентностного подхода при разработке рабочей программы по математике в техническом вузе / И.А. Гарькина // *Вестник Костромского государственного университета*. Серия: Педагогика. Психология. Социокинетика. – 2018. – Т. 24, № 1. – С.95–98.

References

1. Danilov, A.M. University as a system / Danilov A.M., Garkina I.A., Kiselev A.A. // *Regional architecture and engineering*. – 2015. – № 3 (24). – P. 138–142
2. Garkina, I.A. Systematic approach to improving the quality of education / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Bulletin of the Kostroma State University*. ON. Nekrasov. Series: Pedagogy. Psychology. Social work. Juvenology. Sociokinetics. – 2013. – Vol. 19, № 4. – P. 4–7.
3. Garkina, I.A. Formal methods in modeling and identification of organizational systems / I.A. Garkina, A.M. Danilov, O.V. Volkova // *Modern problems of science and education*. – 2013. – №6. – P. 548.
4. Garkina, I.A. Cognitive modeling of an educational system / I.A. Garkina, A.M. Danilov // *Bulletin of the Kostroma State University*. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics. – 2019. – Vol. 25, № 2. – P.6–10.
5. Goodhart, C. Problems of Monetary Management: The UK experience / C. Goodhart // *Papers in Monetary Economics*. – 1975. – Vol. 1. – P.111–144.
6. Balatsky, E.V. Global University Rankings: The Problem of Manipulation / E.V. Balatsky, N.A. Ekimova // *Journal of the New Economic Association*. – 2012. – № 1 (13). – P. 126–146.
7. De Bruyne, H. Results-based management in the public sector / H. De Bruyne. – М.: Institute for Comprehensive Strategic Studies, 2005. – 192 p.
8. Danilov, A.M. Interdisciplinary communications in the competence-based approach to the teaching of bachelors / A.M. Danilov, I.A. Garkina, I.V. Markelova // *Modern problems of science and education*. – 2014. – № 3. – P. 188.
9. Garkina, I.A. Implementation of a competency-based approach in the development of a work program in mathematics at a technical university / I.A. Garkina // *Bulletin of Kostroma State University*. Series: Pedagogy. Psychology. Sociokinetics. – 2018. – Vol. 24, № 1. – P.95–98.

УДК 697:728.1

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

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

Баканова Светлана Викторовна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: SvBakanova@mail.ru

Белов Вячеслав Евгеньевич,
магистрант кафедры «Теплогазоснабжение
и вентиляция»
E-mail: vych.belch1@yandex.ru

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

Eremkin Aleksander Ivanovich,
Doctor of Sciences, Professor,
Head of the department «Heat, Gas Supply
and Ventilation»
E-mail: eremkin@pguas.ru

Bakanova Svetlana Viktorovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Heat, Gas Supply and
Ventilation»
E-mail: SvBakanova@mail.ru

Belov Vyacheslav Evgenievich,
Undergraduate of the department «Heat, Gas
Supply and Ventilation»
E-mail: vych.belch1@yandex.ru

Rodionov Yuri Vladimirovich,
Doctor of Sciences, Professor, Director of the
Automobile and Road Institute
E-mail: rodionov@pguas.ru

НЕКОТОРЫЕ МЕТОДЫ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ МНОГОКВАРТИРНЫХ ЗДАНИЙ

А.И. Ерёмкин, С.В. Баканова, В.Е. Белов, Ю.В. Родионов

Рассматриваются некоторые методы по энергосбережению в системах отопления жилых домов. Установлено, что по независимой схеме, которая позволяет экономить до 30 % тепловой энергии, подключено всего 4,5 % зданий из обследуемых. В большинстве существующих индивидуальных тепловых пунктов отсутствуют средства автоматического регулирования отпуска тепла, это приводит к тому, что практически все дома подвергаются осенне-весеннему «перетопу». Не выполняются требования по тепловой защите ограждающих конструкций зданий – 61 % из обследованных. Даются рекомендации по утеплению ограждающих конструкций, реконструкции тепловых пунктов с целью экономии энергоресурсов.

Ключевые слова: жилые дома, системы отопления, потребление тепловой энергии, энергосбережение, средства автоматического регулирования

SOME METHODS OF ENERGY SAVING IN HEATING SYSTEMS OF RESIDENTIAL MULTI-APARTMENT BUILDINGS

A.I. Eremkin, S.V. Bakanova, V.E. Belov, Yu.V. Rodionov

The article deals with the consumption of thermal energy by heating systems in apartment buildings. It was found that according to an independent scheme, which allows to save up to 30 % of thermal energy, only 4.5 % of the surveyed buildings were connected. In the majority of existing individual heating points, there are no means of automatic regulation of heat supply. This leads to the fact that almost all houses are subject to autumn-spring «overheating». Recommendations are given on the insulation of enclosing structures, reconstruction of heating points in order to save energy.

Keywords: residential buildings, heating systems, heat energy consumption, energy saving, means of automatic regulation

Наибольшая доля потребления тепловой энергии в Российской Федерации приходится на обеспечение температурно-влажностного режима в жилых отапливаемых зданиях. Проводящиеся в нашей стране реформы ЖКХ направлены главным образом на повышение эффективности использования энергетических ресурсов. В законе по энергосбережению этому вопросу уделяется особое внимание.

Почему не видно результатов? Имеет место только повышение оплаты за коммунальные услуги. 2021 год не стал исключением – эти услуги опять существенно подорожали.

Отсутствует механизм заинтересованности как у потребителей, так и у производителей тепловой энергии, а также у служб эксплуатации и у региональных законодательных и управляющих органов. Всё сводится к повышению норм потребления и тарифов на коммунальные услуги.

Приведем результаты исследования на примере пользования системами отопления жилых зданий. Для исследования были выбраны 136 жилых домов (Октябрьский район г. Пензы). Только в шести жилых домах (4,5 %), построенных после 2008 года, системы отопления подключены по независимой схеме. Подключение по такой схеме позволяет экономить до 30 % энергии, даёт возможность готовить воду для систем горячего водоснабжения [1]. Режим работы таких систем отопления регулируется средствами автоматики.

Большинство же многоквартирных жилых домов построены в прошлом веке и оборудованы вертикальными системами отопления по зависимой схеме (130 обследованных домов). Учитывать потребление тепла отдельной квартирой в таком доме сложно. Установка приборов учета в узле ввода в каждом доме – задача практически решенная, если учесть, что до 1990 года такие приборы в жилых домах не устанавливались. Однако системы отопления в этих домах не оснащены средствами автоматического регулирования. На вводе в дом при строительстве устанавливался простой нерегулируемый элеваторный узел. Если даже предусматривались какие-либо автоматические устройства, то через год-два они оказывались отключенными или демонтированными. Причинами, как правило, являлись недостаточная эффективность устанавливаемых систем автоматики (применялось наиболее дешёвое решение) и отсутствие квалифицированной сервисной поддержки.

В чем заинтересован производитель тепла? Как и любой другой производитель, в получении и передаче как можно большего количества продукции, а также в повышении тарифов – от этого зависит прибыль предприятия. Заинтересован он и в сокращении потерь энергии на предприятии. Мотивация существенно снижается, если согласованный с местными органами тариф покрывает все потери.

Потребитель должен быть самым заинтересованным лицом. Однако он лишён каких-либо рычагов воздействия на работу системы отопления. При отсутствии приборов учёта материальный стимул экономного расходования тепловой энергии пропадает. Кроме того, установка приборов учёта на вводах в здания не решает проблему энергосбережения. Необходимо обязательно установить приборы автоматического регулирования, поддерживающие тепловой режим в отапливаемых помещениях, близкий к оптимальному.

В обследуемых жилых домах большое количество жалоб от жильцов на качество поставляемых коммунальных услуг в системах отопления поступает при зависимой схеме подключения без автоматического регулирования. В большинстве домов требуется капитальный ремонт систем отопления с одновременной реконструкцией тепловых пунктов. Предлагаем в тепловых пунктах жилых домов с зависимой схемой для решения вопросов с перерасходом теплоносителя и создания оптимального режима микроклимата устанавливать современные системы автоматического регулирования.

Дальнейшее обследование жилых домов показало, что теплотехнические показатели ограждающих конструкции (стены, пол, потолок, окна, двери) у большинства зданий (61 %) не соответствуют требованиям по тепловой защите [2]. Оборудование ИТП устарело и не отвечает требованиям [3]. В результате жители переплачивают за

отопление, и при этом в помещениях не поддерживаются оптимальные параметры микроклимата, которые предусмотрены нормативными документами ($20 - 22 \text{ C}^0$) [4].

Остановимся на фактическом потреблении тепловой энергии в различных многоквартирных домах (МКД). Замеры производились при различных температурах наружного воздуха. Полученные результаты позволяют оценить, насколько эффективны различные ограждающие конструкции, различные решения тепловых энергоустановок и этажность зданий (табл. 1, 2, 3).

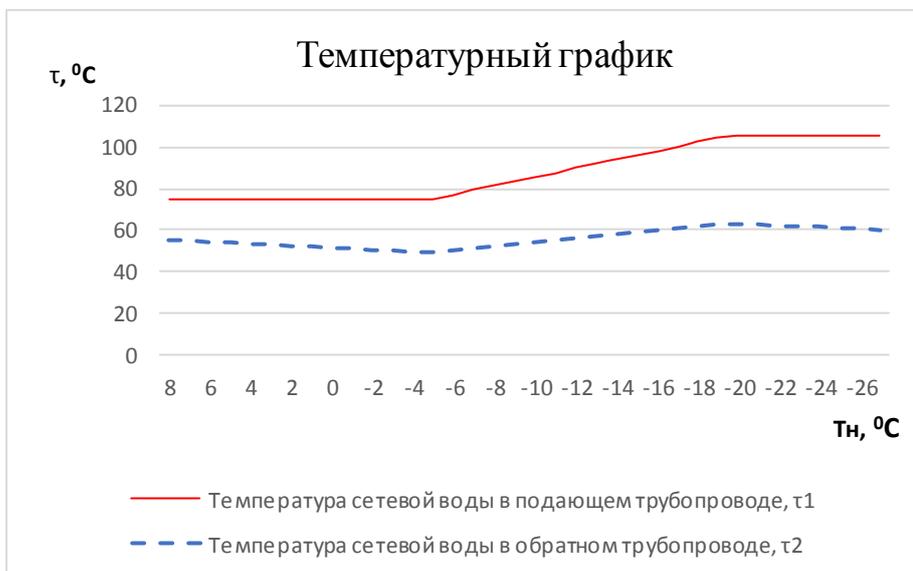
Анализируя представленные результаты исследования (см. табл. 1, 2, 3), делаем выводы:

– этажность жилых домов (5 и 9 этажей) несущественно сказывается на количестве потребляемой тепловой энергии на отопление, а именно различие составляет не более 3 %;

– кирпичные многоквартирные дома по сравнению с панельными домами позволяют экономить до 16 % тепловой энергии;

– тепловая энергоустановка с пофасадным регулированием позволяет экономить до 15 % тепловой энергии.

Следующее направление исследования показало, что практически все обследуемые дома подвергаются осенне-весеннему «перетопу». В этот период подача теплоносителя в МКД осуществляется по срезке температурного графика, представленного на рисунке и утвержденного администрацией г. Пензы на отопительный период 2020–2021 гг. [5]. Данная срезка необходима для поддержания температуры горячего водоснабжения в местах водоразбора не ниже $60 \text{ }^0\text{C}$ согласно [6]. По этому графику необходимо регулировать параметры горячей воды количественно, что возможно только при наличии средств автоматики в ИТП.



Зависимость температуры сетевой воды τ от температуры наружного воздуха T_n

Для доказательства экономического эффекта от переоборудования теплового узла в качестве примера рассмотрим 9-этажный многоквартирный панельный дом, в котором в отопительном периоде 2019–2020 гг. работал классический элеваторный узел с неизменяемым диаметром сопла. Во время подготовки к отопительному периоду 2020–2021 гг. тепловой пункт был переоборудован, установили тепловую энергоустановку с системой автоматического регулирования параметров теплоносителя. Исследования проводили в дни, когда выполнялись условия: одинаковая средняя температура наружного воздуха в течение суток; одинаковая температура теплоносителя. Результаты приведены в табл. 4.

Т а б л и ц а 1
 Потребление тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха в 5-этажных панельных (5ПМКД) и кирпичных многоквартирных жилых домах (5КМКД), 1964 года постройки, без автоматического регулирования тепловой энергоустановки

Средняя температура наружного воздуха в течение суток, t_0	5 ПМКД №1, отапливаемая площадь 3625 м ²		5 ПМКД №2, отапливаемая площадь 3626 м ²		5 ПМКД №3, отапливаемая площадь 3622 м ²		5 КМКД №1, отапливаемая площадь 3144 м ²		5 КМКД №2, отапливаемая площадь 2493 м ²		5 КМКД №3, отапливаемая площадь 3560 м ²		Среднее фактическое потребление тепловой энергии для 5КМКД, ккал/(сут·м ²)
	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	
2	2,66	733,79	2,89	797,02	2,66	734,40	2,15	683,84	1,71	685,92	2,52	707,87	692,54
0	2,73	753,10	2,96	816,33	2,74	756,49	2,20	699,75	1,82	730,04	2,58	724,72	718,17
-5	2,79	769,66	3,03	835,63	2,80	773,05	2,25	715,65	1,83	734,06	2,59	727,53	725,74
-15	3,82	1053,79	4,16	1147,27	3,85	1062,95	3,03	963,74	1,95	782,19	3,60	1011,24	919,06
-22	4,02	1108,97	4,37	1205,18	4,05	1118,17	3,17	1008,27	2,42	970,72	3,75	1053,37	1010,79

Q , гкал/сут – количество затраченной энергии за сутки на отопление жилого дома;

q , ккал/(сут·м²) – количество затраченной энергии за сутки на единицу отапливаемой площади;

5ПМКД – пятиэтажный панельный многоквартирный жилой дом;

5КМКД – пятиэтажный кирпичный многоквартирный жилой дом.

Т а б л и ц а 2
 Потребление тепловой энергии в зависимости от температуры наружного воздуха в 9-этажных панельных (9ПМКД) и кирпичных многоквартирных жилых домах (9КМКД), 1980 года постройки, без автоматического регулирования тепловой энергии энергоустановки

Средняя температура наружного воздуха в течение суток, $t_{\text{ср}}$	9 ПМКД №1, отопляемая площадь 5704 м ²		9 ПМКД №2, отопляемая площадь 6123 м ²		9 ПМКД №3, отопляемая площадь 5722 м ²		9 КМКД №1, отопляемая площадь 3956 м ²		9 КМКД №2, отопляемая площадь 13375 м ²		9 КМКД №3, отопляемая площадь 3250 м ²		Среднее фактическое потребление тепловой энергии для 9КМКД, ккал/(сут·м ²)
	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	Q , гкал/сут	q , ккал/(сут·м ²)	
2	4,47	783,66	4,00	653,27	4,58	800,42	2,66	672,40	9,12	681,97	2,44	750,77	701,71
0	4,52	792,43	4,13	674,51	4,70	821,39	2,74	692,62	9,45	706,65	2,50	769,23	722,83
-5	4,60	806,45	4,15	677,77	4,70	821,39	2,75	695,15	9,46	707,40	2,51	772,31	724,95
-15	6,46	1132,54	5,89	961,95	6,67	1165,68	3,45	872,09	13,12	981,08	2,99	920,00	924,39
-22	6,80	1192,15	6,23	1017,48	6,97	1218,11	3,96	1001,01	13,50	1016,23	3,51	1080,00	1032,41

Q , гкал/сут – количество затраченной энергии за сутки на отопление жилого дома;

q , ккал/(сут·м²) – количество затраченной энергии за сутки на единицу отопляемой площади;

9ПМКД – девятиэтажный панельный многоквартирный жилой дом;

9КМКД – девятиэтажный кирпичный многоквартирный жилой дом.

Девятиэтажный панельный многоквартирный жилой дом с пофасадным регулированием (9ПМКДФ)

Наименование	Средняя температура наружного воздуха в течение суток, °С	Год постройки	Отапливаемая площадь, м ²	Количество затраченной энергии за сутки, Q, гкал/сут	Количество затраченной энергии на ед. площади, ккал/(сут·м ²)
9ПМКДФ№1	2	1985	15852	10,12	638,41
	0			10,44	658,59
	-5			10,45	659,22
	-15			14,85	936,79
	-22			15,46	975,27

Т а б л и ц а 4

Сравнительный анализ работы тепловой установки с неизменяемым соплом в элеваторе и элеваторным узлом с автоматическим регулированием

Наименование объекта исследования	Площадь жилого помещения, м ²	Элеваторный узел с неизменяемым соплом			Элеваторный узел с автоматическим регулированием			Экономический эффект, %
		Средняя температура наружного воздуха в течение суток, °С	Количество затраченной энергии за сутки, Q, гкал/сут	Количество затраченной энергии на ед. площади, ккал/м ²	Средняя температура наружного воздуха в течение суток, °С	Количество затраченной энергии за сутки, Q, гкал/сут	Количество затраченной энергии на ед. площади, ккал/м ²	
9ПМКДР	5218	5	3,5	670,76	5	2,5	479,11	28,57
		1	3,6	689,92	1	2,94	563,43	18,33
		-2	3,6	689,92	-2	3,18	609,43	11,66
		-4	3,6	689,92	-4	3,29	630,51	8,61
		-8	3,8	728,25	-8	3,77	722,50	0,79
		-12	4,3	824,07	-12	4,35	833,65	-1,15
		-22	6,2	1188,19	-22	6,4	1226,52	-3,12

Из табл. 4 видно, что экономический эффект по затраченной тепловой энергии достигается при температуре наружного воздуха минус 8 °С и при дальнейшем повышении температуры. При низких температурах потребляется больше тепловой энергии. Последнее необходимо для поддержания оптимальной температуры внутреннего воздуха в помещениях.

Согласно результатам проведенных исследований систем отопления в многоквартирных жилых домах, с целью экономии энергоресурсов предложено устанавливать в ИТП автоматическую систему регулирования на элеваторные узлы, а также производить утепление ограждающих конструкций.

Список литературы

1. Грановский, В.Л. Энергоэффективные системы отопления: тенденции, практика, проблемы / В.Л. Грановский // АВОК. – 2011. – №8. – С. 40–47.
2. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий / Министерство регионального развития Российской Федерации. – М., 2012.

3. Приказ №115 от 24 марта 2003 г. «Об утверждении Правил технической эксплуатации тепловых энергоустановок» / Министерство энергетики Российской Федерации. – М., 2003.
4. ГОСТ 30494-2011. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – М., 2013.
5. <https://penza-gorod.ru/>.
6. СП 30.13330.2020. Внутренний водопровод и канализация зданий / Министерство строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации. – М., 2020.

References

1. Granovsky, V.L. Energy-efficient heating systems: trends, practice, problems / V.L. Granovsky // AVOK. – 2011. – No. 8. – P. 40-47.
2. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings / Ministry of Regional Development of the Russian Federation. – М., 2012.
3. Order No. 115 of March 24, 2003 «On Approval of the Rules for the Technical Operation of Thermal Power Plants» / Ministry of Energy of the Russian Federation. – М., 2003.
4. GOST 30494-2011. Residential and public buildings. Indoor microclimate parameters / Interstate Council for Standardization, Metrology and Certification. – М., 2013.
5. <https://penza-gorod.ru/>.
6. SP 30.13330.2020. Internal water supply and sewerage of buildings / Ministry of Construction and Housing and Communal Services of the Russian Federation. – М., 2020.

АРХИТЕКТУРА

ARCHITECTURE

УДК 627.7/8

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

Гречишкин Александр Викторович,
кандидат технических наук,
зав. кафедрой «Городское строительство
и архитектура»
E-mail: gsia@pguas.ru

Тамбовский государственный технический университет

Россия, 392000, г. Тамбов,
ул. Советская, д.106,
тел.: (84752) 63-09-20;

Жоголева Ольга Александровна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство
и автомобильные дороги»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Матвеева Ирина Владимировна,
кандидат технических наук,
доцент кафедры «Городское строительство
и автомобильные дороги»
E-mail: times02@yandex.ru

*Penza State University of Architecture
and Construction*

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

Grechishkin Alexander Viktorovich,
Candidate of Sciences, Head of the
department «Urban Development and
Architecture»
E-mail: gsia@pguas.ru

Tambov State Technical University

Russia, 392000, Tambov, 106, Sovetskaya St.,
tel.: (84752) 63-09-20

Zhogoleva Olga Aleksandrovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department «Urban Development and
Roads»
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

Matveeva Irina Vladimirovna,
Candidate of Sciences, Associate Professor of
the department « Urban Development and
Roads»
E-mail: times02@yandex.ru

УЧЕТ ФАКТОРА ШУМНОСТИ ПРИ РЕКОНСТРУКЦИИ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ПРОВИНЦИАЛЬНЫХ ГОРОДОВ

А.В. Гречишкин, О.А. Жоголева, И.В. Матвеева

Рассмотрены изменения, происходящие на исторических территориях провинциальных городов России, показано их влияние на экологическое состояние городской среды, в том числе и на ее акустическую комфортность. Определено, что основной причиной, влияющей на ухудшение шумовой обстановки в исторической застройке, является ее превращение в межмагистральные территории. Показано, что при реконструкции застройки необходимо использовать социально-экологический подход к изменению ее планировочной структуры, обеспечивающий одновременное решение градостроительных, социальных и экологических задач, в том числе задач по улучшению шумового режима. Рассмотрены меры снижения шумовой нагрузки в застройке, применение которых эффективно на стадии ее реконструкции.

Ключевые слова: историческая застройка, реконструкция застройки, городская среда, шум в городской застройке, снижение шума, транспортные магистрали

NOISE IMPACT ACCOUNTING IN THE RECONSTRUCTION OF HISTORICAL BUILDINGS IN PROVINCIAL CITIES

A.V. Grechishkin, O. A. Zhogoleva, I. V. Matveeva

The changes occurring in the historical territories of the provincial cities of Russia are considered, and their influence on the ecological state of the urban environment, including its acoustic comfort, is shown. It is determined that the main reason for the deterioration of the noise situation in historical buildings is its transformation into inter-highway territories. It is shown that when reconstructing a building, it is necessary to use a socio-ecological approach to changing its planning structure, which provides simultaneous solutions to urban, social and environmental problems, including problems to improve the noise regime. Measures to reduce the noise load in the building, the use of which is effective at the stage of its reconstruction, are considered.

Keywords: historical buildings, reconstruction of buildings, urban environment, noise in urban buildings, noise reduction, transport highways

Историческая застройка провинциальных городов России – основной элемент городской среды, содержащий информацию о становлении и развитии поселений, их культуре и архитектуре. По этой причине ее сохранение является актуальной проблемой при реконструкции провинциальных городских поселений. В процессе реконструкции застройки приходится решать градостроительные, социальные, инженерно-технические, экономические и экологические задачи. При этом должен использоваться комплексный подход, учитывающий многофакторность процессов, протекающих в застройке и зачастую противоречащих друг другу.

В настоящее время общей тенденцией для исторических городов является застройка их периферийных районов, в том числе и за счет освоения новых территорий. Практика такого развития поселений показала наличие целого ряда негативных последствий. Одним из таких последствий является ухудшение шумовой обстановки на их исторической территории.

Сложившаяся в настоящее время практика неконтролируемого переселения жителей на окраины городов приводит к «запустению» их центральной части. В этой ситуации из-за изменения связей между местами проживания и рабочими местами происходит кардинальное изменение транспортных потоков в городе. Улицы центральной части города становятся транспортными магистралями, имеющими транзитный характер. При этом на них существенно возрастает интенсивность транспортных потоков, особенно в утренние и вечерние часы. Постоянный рост транспортной нагрузки ведет к росту шумового загрязнения прилегающей к дорогам застройки. Застройка становится межмагистральной территорией, не отвечающей ей по планировочным параметрам, определяемым по условиям защиты от шума.

Ситуация усугубляется также особенностями улиц, получивших статус транспортных магистралей. К таким особенностям относятся недостаточная ширина улиц, сложность развязок, отсутствие дублирующих магистралей и т.д. [1]. Рост транспортной нагрузки вынуждает расширять улицы. Расширение, как правило, производится за счет поглощения буферных зон между дорогой и прилегающей застройкой. Приближение к застройке источников шума в виде потоков транспорта при плотной примыкающей застройке кварталов образует «улицы-каньоны», для которых характерно наличие высоких уровней отраженного шума. Уровни шума на фасадах зданий за счет отраженной составляющей могут повышаться до 6 дБ. В то же время при разряженной малоэтажной планировке, характерной, например, для большей исторической части Тамбова, прямой звук от транспорта через разрывы между зданиями проникает вглубь застройки, создавая акустический дискомфорт внутри кварталов.

По этим причинам зашумление городских территорий исторически сложившейся застройки провинциальных городов становится одной из основных экологических проблем. Ее эффективное решение возможно при комплексном подходе к сохранению и развитию городской территории в рамках ее реконструкции с учетом существующих

градостроительных, социальных и экономических реалий каждого конкретного городского поселения [2].

В настоящее время нами произведены обширные исследования влияния реконструкции исторической застройки города на ее шумовой режим. Исследования выполнены на примере изменений шумовой ситуации при реконструкции кварталов центральной части Тамбова.

Имеющийся опыт реконструкции исторической части провинциальных городов свидетельствует об использовании двух основных принципов ее выполнения. Первый принцип основан на социально-экономическом подходе, второй предполагает изменение структуры исторических районов с ориентацией на социально-экологические факторы.

Использование первого принципа при реконструкции исторической застройки Тамбова показало ряд негативных последствий, преобладание экономического фактора приводит к игнорированию необходимости решения других задач, в том числе и экологических. Например, широко распространенной в последнее время схемой застройки исторических кварталов Тамбова является строительство новых зданий во внутренней их части. Такое строительство способствует некоторому уплотнению застройки, но сохраняет при этом проблемы социального и экологического плана. Основная масса жилья, расположенного по периметру квартала и имеющего неудовлетворительное техническое состояние, остается без каких-либо изменений. Остаются нерешенными и экологические проблемы, в том числе и по фактору шумности.

В случае использования второго принципа реконструкция застройки должна производиться в соответствии с концепцией биосферной совместимости среды жизнедеятельности. При таком подходе решение социально-экологических проблем должно быть первоочередной задачей реконструкции. В процессе ее решения должен производиться анализ существующей перед реконструкцией ситуации, основанной на мониторинге градостроительных, исторических, социальных и экологических процессов, происходящих в среде застройки, и на установлении их относительной между собой иерархии. Обеспечение экологических параметров среды при социально-экологическом подходе является одной из главных задач реконструкции существующей исторической среды. Защита от шумового загрязнения в данном случае – один из основных факторов, влияющих на преобразование городской среды. Следует отметить, что второй принцип реконструкции в силу преобладания экономического фактора в Тамбове, как и в других подобных ему городах, используется в ограниченном объеме.

В целом выполненные исследования показали, что превращение исторической застройки в межмагистральные территории требует разработки целого комплекса мероприятий по ее защите от проникновения транспортных шумов. Необходимость обеспечения шумозащиты требует [3]:

- разработки новых принципиальных схем реконструкции исторических кварталов с учетом фактора шумности;
- введения в них новых объектов, несущих в себе функции шумозащиты;
- преобразования существующих объектов с целью придания им шумозащитных качеств.

Выбор шумозащитных мероприятий зависит от планировочных решений застройки и от условий распространения в ней звуковой энергии.

В малоэтажной, как правило, разреженной исторической застройке звук от транспорта распространяется далеко вглубь кварталов. Прямая звуковая энергия проникает в застройку через разрывы между зданиями. При этом за счет процессов интерференции и дифракции происходит снижение акустических теней за зданиями. Границы теней у зданий постепенно по мере удаления от магистрали размываются. В конечном итоге прямой звук в глубине застройки переходит в затухающий фоновый шум, имеющий квазицилиндрический характер распространения. Методика расчета такого шума подробно рассмотрена в работе [4].

Акустически эффективным методом шумозащиты в случае такой планировки является устройство шумозащитных преград, перекрывающих разрывы между зданиями первого ряда застройки. При этом можно использовать шумозащитные экраны-заборы. Подобное решение не всегда является удачным. Территория квартала становится обособленной от остальной городской среды. В результате этого могут возникать негативные изменения в жизнедеятельности населения, включая изменение структуры потребностей, способа их реализации, изменение ценностных ориентаций жителей и т.д.

Более приемлемым при такой планировке является способ трансформации первого ряда малоценной застройки путем ее сноса и строительства на освободившихся территориях новых объектов общественного назначения. В результате образуется буферная зона, создающая защиту между транспортной магистралью и внутренней частью кварталов. За счет такого приема внутри кварталов появляется комфортная акустическая среда и возникает возможность при последующей реконструкции кварталов использовать принцип ярусной застройки.

При создании буферной зоны кроме сноса и строительства новых зданий необходимо также выполнять реставрацию имеющихся в первом ряду застройки объектов культурного наследия, в том числе и жилых зданий, с целью приспособления их под здания общественного назначения.

В ряде случаев между магистралью и малоэтажной застройкой могут быть свободные территории, ширина которых позволяет разместить на них шумозащитные здания. При выборе их функционального назначения и последующем их проектировании необходимо учитывать возможность образования на фасадах, обращенных в сторону магистралей, повышенной шумовой нагрузки. При размещении шумозащитных зданий возможно использование трех вариантов: строчное размещение параллельно магистрали; размещение торцами к магистрали; смешанное размещение. Выбор конкретного размещения определяется размерами свободной зоны и возможностью перекрытия разрывов зданиями второго ряда застройки имеющими утилитарное назначение, например, предприятиями торговли, общественного питания, учреждениями бытового обслуживания, коммунального хозяйства и т.п. Перекрытие разрывов также возможно путем устройства шумозащитных сооружений, в том числе имеющих и утилитарное назначение [5]. При выборе и устройстве шумозащитных сооружений необходимо учитывать их интеграцию в городскую среду [3]. При этом уже на стадии проектирования сооружений должны быть оценены последствия их внедрения в среду.

Предложенные способы улучшения шумовой обстановки требуют осмысленного подхода к оценке формирования и распространения звуковой энергии на межмагистральных территориях исторической застройки [6]. Выбор конкретного способа и оценка его эффективности должны основываться на результатах расчета изменений шумовой обстановки, например, при изменениях планировки кварталов путем сноса и строительства новых зданий на его территории. Для оценки шума в таких случаях можно использовать расчетные методы, основанные на интегральном уравнении Куттруфа, и методы, разработанные с использованием марковских цепей [7]. Выбор конкретного метода расчета зависит от планировочной структуры защищаемого участка территории [6, 7].

В целом результаты анализа шумовой обстановки в исторической застройке, ставшей межмагистральной территорией, указывают на необходимость проведения глубоких реконструкционных работ по изменению застройки с учетом ее сложившейся планировочной структуры, плотности, этажности, замкнутости или открытости внешних и внутренних пространств отдельных кварталов и в целом всей застройки.

Имеющийся опыт снижения шума на исторических городских территориях Тамбова показал эффективность комплексного подхода к выбору вариантов реконструкции с учетом возможных изменений планировки исходя их сложившихся на конкретный момент времени градостроительных и транспортных ситуаций. Такой подход использован при разработке новых транспортных схем, снижающих

интенсивность транспортных потоков в пределах исторической городской среды, и выборе шумозащитных мероприятий [8].

Список литературы

1. Андрианов, К.А. Изменения транспортных ситуаций в средних по численности городах России и оценка их воздействий на окружающую среду (на примере г. Тамбова) / К.А. Андрианов, И.В. Матвеева, В.И. Леденев // Инновационные материалы, технологии и оборудование для строительства современных транспортных сооружений. БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – С.7–11.
2. Гребенкин, А.М. Региональный аспект в процессе проектирования шумозащитных сооружений / А.М. Гребенкин, Е.В. Гребенкина // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: сб. материалов 2-й Международной научно-практической конференции Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – 2015. – С.15–19.
3. Шубин, И.Л. Принципы проектирования шумозащитных сооружений в городской среде / И.Л. Шубин, А.М. Гребенкин, Е.В. Гребенкина // Строительство и реконструкция. – 2017. – №3(71). – С.101–106.
4. Николов, Н.Д. Акустическое проектирование с использованием теории квазицилиндрических звуковых волн / Н.Д. Николов, Г.И. Трапов, И.Л. Шубин, М.Г. Маждраков, Д.М. Бенов // Строительство и реконструкция. – 2015. – №4(60). – С.113–118.
5. Асмнин, В.Ф. Анализ путей снижения шума в сложившейся жилой застройке, прилегающей к остановочным пунктам общественного автотранспорта / В.Ф. Асмнин, У.Ю. Корда // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Строительство и архитектура. – 2010. – №4(20). – С.141–145.
6. Жоголева, О.А. Проблемы и задачи снижения шума на межмагистральных территориях провинциальных городов / О.А. Жоголева, А.С. Латышев, В.И. Леденев, А.А. Сергеева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: сб. материалов 6-й Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – 2019. – С.268–272.
7. Антонов, А.И. Расчет шума в городской застройке на основе однородных Марковских цепей / А.И. Антонов, В.И. Леденев, А.А. Сергеева // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт: сб. материалов 6-й Международной научно-практической конференции, посвященной 40-летию юбилею Института архитектуры, строительства и транспорта ТГТУ. – 2019. – С.260–265.
8. Андрианов, К.А. Анализ уровня шумового воздействия автомобильного транспорта с учетом уровня загрузки пересечений городских дорог / К.А. Андрианов, И.В. Матвеева, Д.В. Федоров // Вестник Вологодского государственного университета. Серия: Технические науки. – 2018. – №1(1). – С.76–78.

References

1. Andrianov, K.A. Changes in transport situations in medium-sized cities of Russia and assessment of their impact on the environment (on the example of Tambov) / K.A. Andrianov, I.V. Matveeva, V.I. Ledenev // Innovative materials, technologies and equipment for the construction of modern transport structures. BSTU named after V.G. Shukhov. – 2013. – P. 7–11.
2. Grebenkin, A.M. Regional aspect in the process of designing noise-proof structures / A.M. Grebenkin, E.V. Grebenkina // Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: collection of materials of the 2nd International Scientific and Practical Conference of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU. – 2015. – P. 15–19.

3. Shubin, I.L. Principles for the design of noise structures in the urban environment / I.L. Shubin, A. M. Grebenkin, E. V. Grebenkina // Construction and reconstruction. – 2017. – №3(71). – P. 101–106.
4. Nikolov, N.D. Acoustic design using the theory of quasi-cylindrical sound waves / N.D. Nikolov, G.I. Trapov, I.L. Shubin, M.G. Majdrakov, D.M. Benov // Construction and reconstruction. – 2015. – No. 4(60). – P. 113–118.
5. Asminin, V.F. Analysis of ways to reduce noise in the existing residential buildings adjacent to public transport stops / V.F. Asminin, U.Yu. Korda // Scientific Bulletin of the Voronezh State University of Architecture and Civil Engineering. Construction and architecture. – 2010. – No. 4(20). – P. 141–145.
6. Zhogoleva, O.A. Problems of noise reduction in the inter-main territories of provincial cities / O.A. Zhogoleva, A.S. Latyshev, V.I. Ledenev, A.A. Sergeeva // Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: collection of materials of the 6th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU. – 2019. – P. 268–272.
7. Antonov, A.I. Calculation of noise in urban development on the basis of homogeneous Markov chains / A.I. Antonov, V.I. Ledenev, A.A. Sergeeva // Sustainable development of the region: architecture, construction, transport: collection of materials of the 6th International Scientific and Practical Conference dedicated to the 40th anniversary of the Institute of Architecture, Construction and Transport of TSTU. – 2019. – P. 260–265.
8. Andrianov, K.A. Analysis of the level of noise impact of automobile transport taking into account the level of loading of intersections of urban roads / K.A. Andrianov, I.V. Matveeva, D.V. Fedorov // Bulletin of the Vologda State University. Series: Technical Sciences. – 2018. – No.1(1). – P. 76–78.