

Редакционный совет:
Пилипенко О.В. д-р техн. наук., проф.,
председатель
Голенков В.А. д-р техн. наук, проф.,
зам. председателя
Пузанкова Е.Н. д-р пед. наук, проф.,
зам. председателя
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. канд. техн. наук, доц.,
секретарь
Авдеев Ф.С. д-р пед. наук, проф.
Астафичев П.А. д-р юрид. наук, проф.
Желтикова И.В. канд. филос. наук, доц.
Иванова Т.Н. д-р техн. наук., проф.
Зомитова Г.М. канд. экон. наук, доц.
Колчунов В.И. д-р техн. наук., проф.
Константинов И.С. д-р техн. наук, проф.
Косыкин А.В. д-р техн. наук., проф.
Новиков А.Н. д-р техн. наук., проф.
Попова Л.В. д-р экон. наук., проф.
Уварова В.И. канд. филос. наук., доц.

Главный редактор:
Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Заместители главного редактора:
Данилевич Д.В. канд. техн. наук, доц.
Колесникова Т.Н. д-р арх., проф.
Коробко В.И. д-р техн. наук, проф.

Редакция:
Бок Т. д-р техн. наук., проф. (Германия)
Гордон В.А. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Емельянов С.Г. чл.-корр. РААСН,
д-р техн. наук, проф. (Россия)
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Коробко А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Сергейчук О.В. д-р техн. наук, проф. (Украина)
Серпик И.Н. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тамразян А.Г. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Тур В.В. д-р техн. наук., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д-р техн. наук, проф. (Россия)
Федоров В.С. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Федорова Н.В. советник РААСН,
д-р техн. наук, проф. (Россия)
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д-р техн. наук,
проф. (Россия)
Шах Р. д-р техн. наук, проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:
Савин С.Ю. к.т.н.

Адрес редакции:
302006, Россия, г. Орел, ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство: ПИ №ФС 77-67169
от 16 сентября 2016 г.

Подписной индекс **86294** по объединенному
каталогу «Пресса России»

© ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Дорофеев Н.В., Кузичкин О.Р., Греченева А.В., Романов Р.В.** Контроль
изменения состояния грунтов при геотехническом мониторинге на базе
фазометрических измерительных систем 3
- Тамразян А.Г., Рашидов Б.Т.** К уровню перераспределения моментов
в статически неопределимых железобетонных балках 14
- Теличко В.Г., Золотов Н.В.** Прочность многоэтажного здания
из монолитного железобетона с учетом разносопротивляемости и
повреждаемости материала 22
- Травуш В. И., Карпенко Н. И., Колчунов В. И., Каприелов С. С.,
Демьянов А. И., Конорев А. В.** Результаты экспериментальных исследо-
ваний конструкций квадратного и коробчатого сечений из высокопрочного
бетона при кручении с изгибом 32

Безопасность зданий и сооружений

- Минасян А. А.** Натурные испытания сборных железобетонных плит,
подвергшихся циклическому замораживанию – оттаиванию 44

Архитектура и градостроительство

- Холодова Е.В.** Распространение, типология и социальный характер
загородного усадебного строительства Курского края в XVIII –
1-й половине XIX веков 53

Строительные материалы и технологии

- Бакаева Н.В., Алексашина В.В., Верех-Белоусова Е.И.** Оценка
перспектив использования шахтных отвалов в качестве сырья
для строительных материалов по радиационным показателям 67
- Барахтенко В.В., Бурдонов А.Е., Зелинская Е.В.** Оценка
эффективности применения промышленных отходов в качестве
наполнителя поливинилхлоридных композиций 74
- Бедов А.И., Габитов А.И., Семенов А.А., Гайсин А.М., Салов А.С.**
Применение компьютерных технологий при подготовке специалистов по
направлению «Строительство» 85
- Федоров С.С.** Принципы создания моделей и технологий качественного
проектирования объектов строительства 94
- Хицков А.А., Иванов И.М., Крамар Л.Я.** Влияние глинистых частиц
различных песков на эффективность поликарбоксилатных
суперпластификаторов и свойства цементного камня 102
- Рецензия на монографию «Спектры Фурье и спектры ответов
на землетрясения» 117

Editorial council:

Pilipenko O.V. Doc. Sc. Tech., Prof.,
President
Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Puzankova E.N. Doc. Sc. Ped., Prof.,
Vice-president
Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
Vice-president
Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Docent, Secretary
Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.
Avdeyev F.S. Doc. Sc. Ped., Prof.
Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.
Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.
Koskin A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.
Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.
Uvarova V.I. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zheltikova I.V. Candidat Sc. Philos.,
Docent
Zomiteva G.M. Candidate Sc. Ec., Docent

Editor-in-chief

Kolchunov V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Docent.
Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.
Korobko V.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editorial committee

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)
Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Rimshin V.I. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Sergeyчук O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)
Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Tamrazyan A.G. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)
Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Fedorova N.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof. (Russia)
Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Savin S.Yu. Candidat Sc. Tech

The edition address:

302006, Orel, Moskovskaya Street, 77
+7 (4862) 73-43-49
<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Journal is registered in Russian federal service for
monitoring communications, information technology
and mass communications

The certificate of registration:
ПН №ФЦ 77-67169 from 16.09.2016 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossi»
86294

© Orel State University, 2018

Contents

Theory of engineering structures. Building units

- Dorofeev N.V., Kuzichkin O.R., Grecheneva A.V., Romanov R.V.** Control of the changes in the state of soils during geotechnical monitoring based on the phase-measuring systems 14
- Tamrazyan A.G., Rashidov B.T.** To the level of redistribution of moments in statically uncertain reinforced concrete beams 22
- Telichko V.G., Zolotov N.V.** The strength of high-rise buildings from monolithic reinforced concrete taking into account different resistance and damage of material 32
- Travush V. I., Karpenko N. I., Kolchunov V. I., Kaprielov S. S., Dem'yanov A.I., Konorev A. V.** The results of experimental studies of structures square and box sections in torsion with bending 44

Building and structure safety

- Minasyan A.A.** Natural tests of reinforced concrete slab under affecting of freeze-thaw cycles 53

Architecture and town-planning

- Kholodova E.V.** Distribution, typology and social in nature country manor construction of Kursk region in the XVIII – first half of XIX century 67

Construction materials and technologies

- Bakaeva N.V., Aleksashina V.V., Verekh-Belousova E.I.** Evaluation the prospects of mine dump using in the building materials production by the radiation factors 74
- Barakhtenko V.V., Burdonov A.E., Zelinskaya E.V.** Evaluation of efficiency of industrial waste application as a filler of polyvinyl chloride compositions 85
- Bedov A.I., Gabitov A.I., Semenov A.A., Gaisin A.M., Salov A.S.** Application of computer technologies at preparation of specialists on the direction of "Construction" 94
- Fedorov S.S.** Principles of creation of models and technologies of high-quality designing of construction objects 102
- Hickov A.A., Ivanov I.M., Kramar L.Y.** Influence of clay particles of various sands on the effectiveness of polycarboxylate superplasticizers and the properties of cement stone 117
- Review of the monograph "Fourier spectra and response spectra on the earthquake" 117

УДК 550.379

ДОРОФЕЕВ Н.В., КУЗИЧКИН О.Р., ГРЕЧЕНЕВА А.В., РОМАНОВ Р.В.

КОНТРОЛЬ ИЗМЕНЕНИЯ СОСТОЯНИЯ ГРУНТОВ ПРИ ГЕОТЕХНИЧЕСКОМ МОНИТОРИНГЕ НА БАЗЕ ФАЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В статье рассматривается применение фазометрического метода контроля изменения состояния грунтов при геотехническом мониторинге в условиях активизации карстовых процессов. Анализируется влияние мультипликативных помех природного характера на результаты геодинамического контроля в системах геотехнического мониторинга. Применение фазометрического метода позволяет повысить точность геодинамического контроля за счет устранения мультипликативной помехи. Отмечена необходимость адаптации фазового метода к условиям сильных мультипликативных помех при организации геодинамического контроля карстовых процессов. Дается теоретическая оценка ослабления мультипликативной помехи на примере модели геодинамического контроля карстовой суффозионной полости с применением двухполюсной фазометрической электроустановки с базой, равной удвоенному радиусу полости. Описывается измерительная установка для регистрации приповерхностной геодинамики. Описана схема устройства регистрации геодинамики приповерхностных неоднородностей, разработанного для экспериментальных работ при натурном моделировании геодинамического контроля развития карстовой суффозионной полости с использованием двухполюсной фазометрической электроустановки. Приводятся результаты натурного моделирования контроля развития карстово-суффозионной полости с использованием двухполюсной фазометрической электроустановки. Результаты экспериментальных натурных исследований подтвердили преимущество фазометрического метода, характеризующее компенсационным подавлением мультипликативных помех по всему частотному диапазону, по сравнению с эквипотенциальным методом. В результате эксперимента показано, что при использовании фазометрического метода геодинамического контроля идет компенсационное подавление мультипликативных помех по всему частотному диапазону. Установлено, что мультипликативная помеха не влияет на регистрируемую фазу, а мультипликативная помеха ослаблена. Построены теоретические зависимости величины ослабления мультипликативных помех в зависимости от относительного изменения залегания кровли карстовой полости при различных значениях пространственного параметра размещения измерительной установки, подтверждающие метрологические возможности фазометрического метода.

Ключевые слова: геотехнический мониторинг, грунтовое основание, фазометрический метод, геодинамический контроль, геоэлектрический сигнал, мультипликативная помеха, мониторинг, карстовые процессы.

Введение

Применение многополюсных электроустановок в системах геоэлектрического контроля позволяет осуществлять эффективный геодинамический мониторинг среды в условиях действия промышленных и климатических помех, а также сложной застройки, характерных для большинства промышленных объектов [1,2]. Методика выделения геодинамических вариаций среды предполагает регистрацию и анализ двухкомпонентного электрического поля, созданного многополюсным источником зондирующих сигналов при фиксированном положении, как источников, так и измерительного базиса. Слежение за объектом осуществляется за счет управления параметрами зондирующих сигналов при одновременной регистрации фазовых характеристик поля и компенсации текущего тренда геоэлектрических сигналов в точках наблюдения [3].

Практическое применение данного метода показало его высокую чувствительность к слабым геодинамическим изменениям исследуемых сред и к внешним дестабилизирующим факторам, таким как природные и техногенные геодеформационные воздействия [4]. Вместе с тем, следует отметить, что при этом для регистрации данных геодинамического контроля, требуется применение высокоточных дифференциальных измерительных преобразователей и устройства регистрации геоэлектрических сигналов с использованием синхронных фазовых детекторов. Однако обратной стороной высокой чувствительности при их использовании является низкая помехозащищенность от влияния мультипликативных помех. Она вызывается нестабильностью напряжения источника питания преобразователя, а также влиянием на коэффициенты передачи ветвей измерительного преобразователя внешних возмущающих факторов (температуры, влажности и т.п.) [5].

При организации геодинамического контроля карстовых процессов эти помехообразующие факторы являются существенными осложняющими проведение мониторинговых работ условиями, учитывая долговременный характер измерений. Однако в целом применение фазового метода регистрации геоэлектрических сигналов в многополюсных электроустановках оправдано ввиду возможности выявления начальной стадии катастрофических изменений в геологической среде [6]. Поэтому необходимость адаптации фазового метода к условиям сильных мультипликативных помех при организации геодинамического контроля карстовых процессов является актуальной задачей. Это предполагает как создание специализированных фазометрических систем, так и разработку специализированного алгоритмического обеспечения, адаптированного под задачи геодинамического контроля карстовых процессов.

Целью настоящей работы является рассмотрение применения фазометрического метода геодинамического контроля применительно к мониторингу карстовых процессов и анализ возможностей влияния мультипликативных помех природного характера на результаты геодинамического контроля.

Фазометрический принцип регистрации геоэлектрических данных геодинамического контроля

Фазометрический метод регистрации геоэлектрических данных используется для слежения за геодинамикой приповерхностных неоднородностей в случаях необходимости обеспечения повышенной чувствительности к особым изменениям объекта исследования. Высокая эффективность достигается увеличением чувствительности измерительной системы, начальной установкой и оперативным позиционированием электроустановки за счет управления источниками зондирующих сигналов [7]. В работе [8] обосновывается методика применения фазометрического метода геоэлектрического контроля, заключающаяся в том, что в качестве зондирующего сигнала используется несколько источников, расположенных вблизи исследуемого объекта и необходимое количество векторных измерительных датчиков электрического поля. В простейшем случае могут использоваться два точечных источника A , B и один измерительный датчик O , расположенный по линии AB и на равных расстояниях от источников (рисунок 1а).

Точечные источники A и B формируют зондирующие сигналы, сдвинутые по фазе на $\pi/2$ относительно друг друга. Следует отметить, что при другом расположении источников относительно датчика, а также при многополюсном зондировании фазовые сдвиги между тестовыми сигналами могут быть иными. Каждый из точечных источников формирует в точке O сигнал электрического поля следующего вида:

$$\begin{aligned}\vec{E}_{Ax} &= \vec{E}_{Ax}^0 + \Delta \vec{E}_{Ax}, \quad \vec{E}_{Ay} = \Delta \vec{E}_{Ay} \\ \vec{E}_{Bx} &= \vec{E}_{Bx}^0 + \Delta \vec{E}_{Bx}, \quad \vec{E}_{By} = \Delta \vec{E}_{By}\end{aligned}\quad (1)$$

где \vec{E}^0 – нормальный сигнал при отсутствии неоднородности; $\Delta\vec{E}$ – аномальная составляющая электрического поля, вызванная наличием и геодинамикой неоднородности.

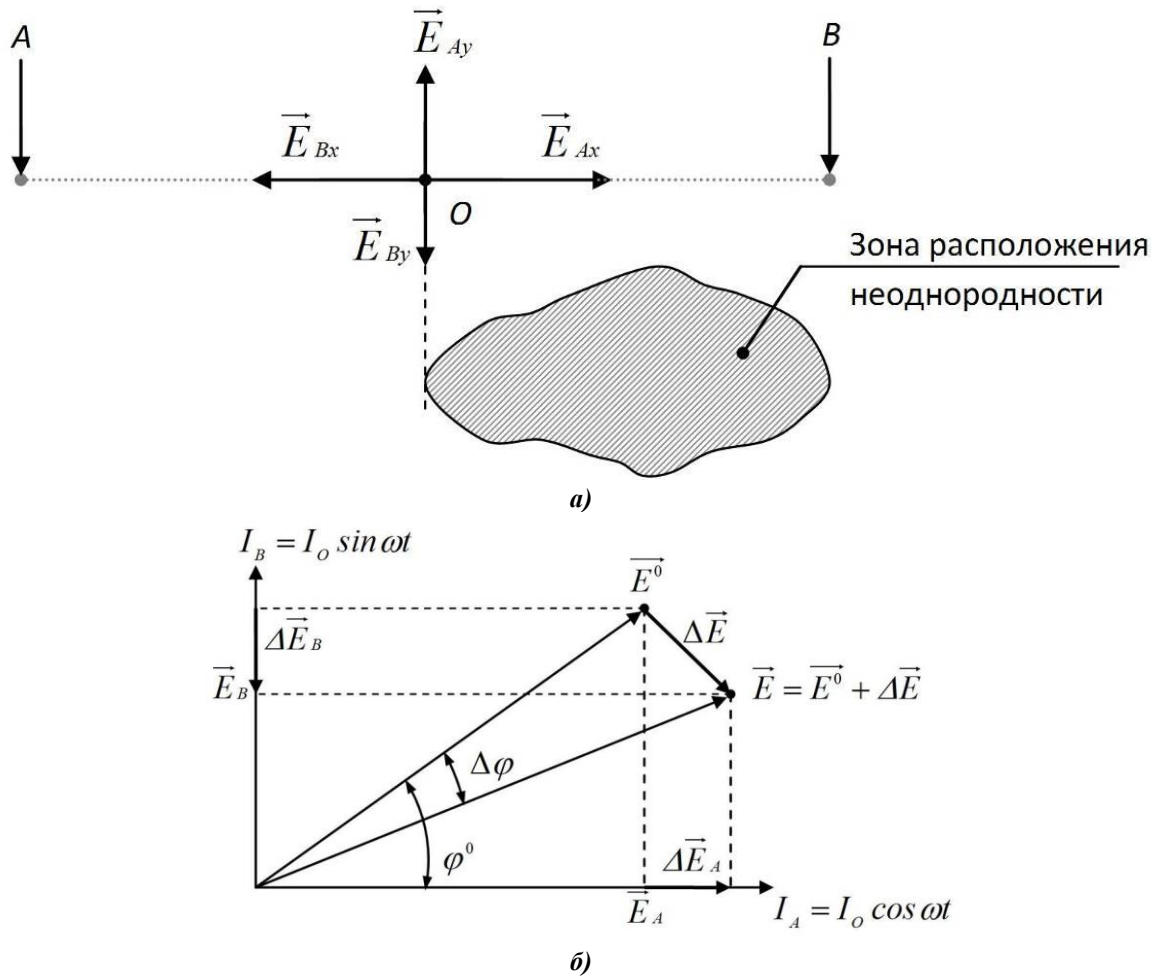


Рисунок 1 - Фазометрический принцип геодинамического контроля

В результате принципа суперпозиции полей источников I_A и I_B результирующий нормированный сигнал в точке O, в соответствии с рисунком 1б, имеет вид:

$$H_x = E_x / I_0 = (E_{Ax}^0 / I_0 + \Delta E_{Ax} / I_0) \sin \omega t + (E_{Bx}^0 / I_0 + \Delta E_{Bx} / I_0) \cos \omega t,$$

$$H_y = E_y / I_0 = \Delta E_{Ay} \sin \omega t / I_0 + \Delta E_{By} \cos \omega t / I_0. \quad (2)$$

Отличительной особенностью данного метода является то, что информационным регистрируемым параметром является не амплитуда, а фаза φ результирующего сигнала, определяемая в соответствии со следующими соотношениями:

$$\varphi_x = \arctg \left(\frac{E_{Ax}^0 + \Delta E_{Ax}}{E_{Bx}^0 + \Delta E_{Bx}} \right), \quad \varphi_y = \arctg \left(\frac{\Delta E_{Ay}}{\Delta E_{By}} \right). \quad (3)$$

Геодинамические вариации исследуемого объекта определяются смещением фиктивных источников, которое приводит к дисбалансу измерительной системы и регистрации в ней соответствующего вектора сигнала. Сигнал смещения фиктивных источников после предварительной обработки может быть представлен моделью аддитивно-мультипликативного класса [9]:

$$\begin{aligned} E_x(t) &= \Delta E_x(t, T)(1 + \xi_x(t)) + E_x^0(t), \\ E_y(t) &= \Delta E_y(t, T)(1 + \xi_y(t)) + E_y^0(t) \end{aligned} \quad (4)$$

где $\Delta E_x(t, T)$, $\Delta E_y(t, T)$ - сигналы смещения фиктивных источников с учетом температурной зависимости коэффициента контрастности; $E_x^0(t)$, $E_y^0(t)$ - тренд сигнала смещения; $\xi_x(t)$, $\xi_y(t)$ - мультипликативная помеха, характеризующие действие планетарных и климатических факторов; T - обобщенная температура.

Устранение мультипликативных помех в фазометрических системах геоэлектрического контроля

Применяемый фазометрический метод регистрации геоэлектрических сигналов позволяет устранить мультипликативную помеху и соответственно повысить точность геоэлектрического контроля за счет применения фазовых методов формирования зондирующих сигналов. Работа фазометрических систем геоэлектрического контроля (рис.1) основана на непосредственном преобразовании полезного сигнала в фазу колебания [8].

В случае использования двухполюсной электроустановки и фазового метода эквипотенциальной регистрации геодинамических вариаций с учетом мультипликативной помехи уравнения (2) могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} H_x &= (E_{Ax}^0/I_0 + \Delta E_{Ax}(1 + \xi_x)/I_0) \sin \omega t + (E_{Bx}^0/I_0 + \Delta E_{Bx}(1 + \xi_x)/I_0) \cos \omega t \\ H_y &= (1 + \xi_y)(\Delta E_{Ay} \sin \omega t / I_0 + \Delta E_{Bx} \cos \omega t / I_0) \end{aligned} \quad (5)$$

В этом случае чувствительность регистрируемых фазовых сигналов к мультипликативным помехам может быть определена в соответствии со следующими соотношениями:

$$\frac{\Delta \varphi_y}{\Delta \xi_y} = 0, \quad \frac{\Delta \varphi_x}{\Delta \xi_x} = \max \left\{ \frac{\Delta E_{Ax}}{E_{Ax}^0}, \frac{\Delta E_{Bx}}{E_{Bx}^0} \right\}, \quad E^0 \neq 0. \quad (6)$$

Как видно из соотношения (6) практически мультипликативная помеха не влияет на регистрируемую фазу φ_y , а по фазе φ_x мультипликативная помеха ослаблена в n раз.

$$n = \min \left\{ \frac{E_{Ax}^0}{\Delta E_{Ax}}, \frac{E_{Ay}^0}{\Delta E_{Ay}} \right\}, \quad \Delta E \neq 0.. \quad (7)$$

В частности, для оценки ослабления мультипликативных помех можно воспользоваться известным решением о поле точечного электрода в присутствии карстово-суффозионной полости [9]:

$$\dot{U}(r, \theta) = \frac{i\rho_1}{4\pi d} \sum_{n=0}^{\infty} \left(\frac{R}{d} \right)^n P_n(\cos \theta) + \sum_{n=0}^{\infty} A_n R^n P_n(\cos \theta), \quad A_n = \frac{i\rho_1}{4\pi} \frac{(\rho_2 - \rho_1)n}{(\rho_1 n + \rho_2(n+1))d^{n+1}}, \quad (8)$$

где $P_n(\cos \theta)$ - полином Лежандра; R - радиус полости, d - расстояние от точки зондирования до центра неоднородности; θ - дирекционный угол между направлением от центра неоднородности на точку фазового контроля относительно направления на точку зондирования; коэффициент A_n определяется граничными условиями и пространственными параметрами приповерхностной неоднородности.

Теоретическую оценку зависимости ослабления мультипликативной помехи проведем на основе модели геодинамического контроля карстовой суффозионной полости при использовании двухполюсной фазометрической электроустановки с базой равной удвоенному ра-

диусу полости $L = 2R$, смещенной на $\Delta x = R$ относительно центра электроустановки для различных глубин залегания верхнего свода полости h (рис.2).

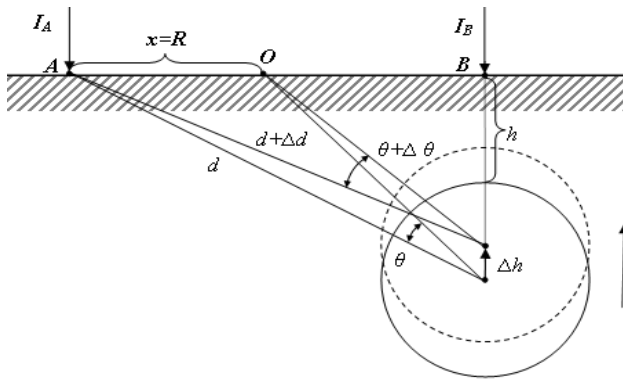


Рисунок 2 - Расчетная модель карстово-суффозионного процесса

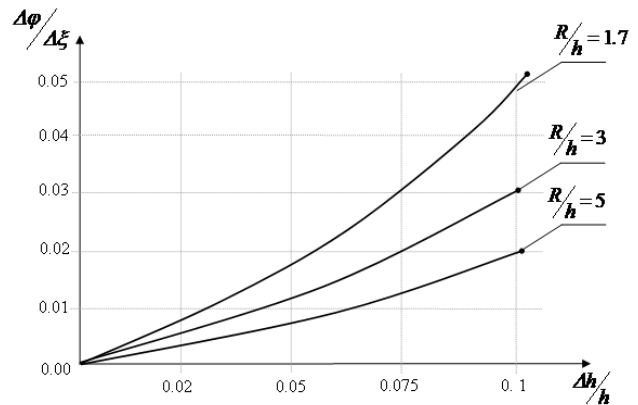


Рисунок 3 - Теоретическая зависимость ослабления мультипликативной помехи

В соответствии с принятыми допущениями при условии малости геодинамических изменений полости Δh можно записать:

$$\Delta d \approx \frac{h}{\sqrt{4R^2 + (R+h)^2}} \Delta h, \quad \Delta \theta \approx 0. \quad (9)$$

На основании соотношения (8) для регистрируемых геоэлектрических сигналов в аддитивно-мультипликативном виде (4) уравнение для фазовой чувствительности примет следующий вид:

$$\frac{\Delta \varphi_x}{\Delta \xi_x}(h, R, \Delta h) = \frac{\Delta E_{Ax}}{E_{Ax}^0} = \frac{h \sum_{n=0}^{\infty} \frac{P_n(\cos \theta) R^n (2n+1)}{d^{n+2}} \Delta h}{\sqrt{(4R^2 + (R+h)^2)} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{P_n(\cos \theta) R^n (2n+1)}{d^{n+1} (n+1)}}. \quad (10)$$

На рисунке 3 приведены теоретические зависимости величины ослабления мультипликативных помех в зависимости от относительного изменения залегания кровли полости $\Delta h/h$ при различных значениях пространственного параметра размещения измерительной установки R/h выполненные с использованием пакета программ MATLAB.

Как видно из рисунка 3 использование фазометрического метода позволило значительно снизить влияние мультипликативных помех на результаты геодинамических измерений. Однако присутствие карстовой полости оказывает негативное влияние на помехоустойчивость геоэлектрических измерений, что следует учитывать при проведении режимных карстовых наблюдений.

Измерительная установка и результаты эксперимента

Для экспериментальных работ при натурном моделировании геодинамического контроля развития карстовой суффозионной полости с использованием двухполюсной фазометрической электроустановки было разработано устройство регистрации геодинамики приповерхностных неоднородностей, представленное на рисунке 4. В данном устройстве сигнал, пропорциональный регистрируемому электрическому полю, с датчика Д через встроенный усилитель 1 поступает на режекторный фильтр 2, подавляющий помехи промышленной частоты. Компаратор 10 служит для формирования прямоугольного сигнала с измеряемой фа-

зой φ . На элементе "И" собрана схема фазового детектора, который формирует сигнал длительностью, пропорциональной фазовому сдвигу φ_u , вводимый через регистр 4 в ЭВМ. Генераторная часть устройства состоит из двух идентичных частей U_A и U_B , включающих в себя усилители 8 и 9, а также полосовые фильтры 6 и 7, настроенные на основную гармонику тестового сигнала электрического поля. Регистр 5 служит для вывода опорных тактовых последовательностей φ_0 , φ_a , φ_b , формируемых ЭВМ.

Рассмотренное устройство позволяет обеспечивать максимально возможный коэффициент усиления тракта измерения при регистрации геодинамики объекта $K_u = 10^5 K_{усл}$, (где $K_{усл}$ – коэффициент усиления встроенного в датчик усилителя) за счет непосредственного преобразования информации в длительность сигнала [10].

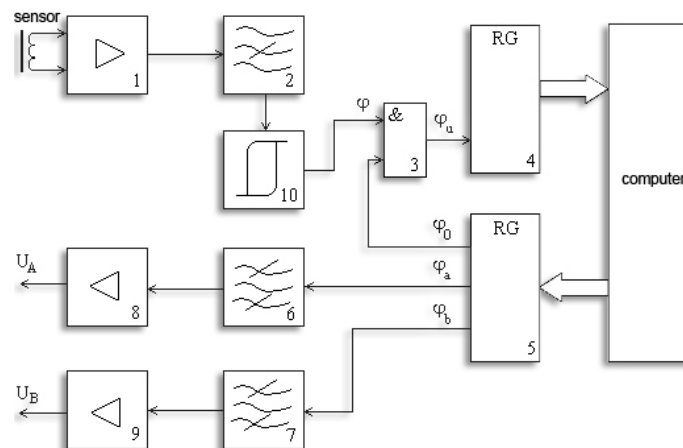


Рисунок 4 - Блок-схема устройства регистрации геодинамики карстовых процессов фазометрическим методом

Объектом исследования было выбрано карстовое озеро Свято Нижегородской области. Выбор данного объекта для проведения исследований возможности применения фазометрического метода для геодинимического контроля карстовых явлений был связан с тем, что само озеро и его окрестности характеризуются интенсивным развитием карстовых и суффозионных процессов [11]. Датчики электрического поля, располагались на расстоянии 12 метров от прибрежной линии озера, а аппаратура регистрации и управления электроустановкой на расстоянии 30 метров от места расположения датчиков при разnose питающих электродов 120 метров.



Рисунок 5 - Экспериментальные работы на карстовом озере Свято Нижегородской области:
а) сенсор, б) устройство регистрации

При проведении эксперимента регистрация геодинамических вариаций проводилась фазометрическим методом и одновременно, для получения сравнительных данных, применялся уже известный эквипотенциальный метод геодинамического контроля [12] с направлением регистрации по нормали к береговой линии озера. Работы проводились в рамках выполнения исследований по проекту, поддержанному Минобрнауки России №5.3606.2017/ПЧ в период с 5.04.2017 по 25.05.2017.

На рисунке 6 приведены результаты экспериментальных исследований с использованием фазометрического метода геодинамического контроля (рис.6, а) и с помощью применения эквипотенциального метода контроля с использованием одного компенсационного источника [13] (рис. 6, б). На рисунке 6, в приведены спектры регистрируемых геоэлектрических сигналов.

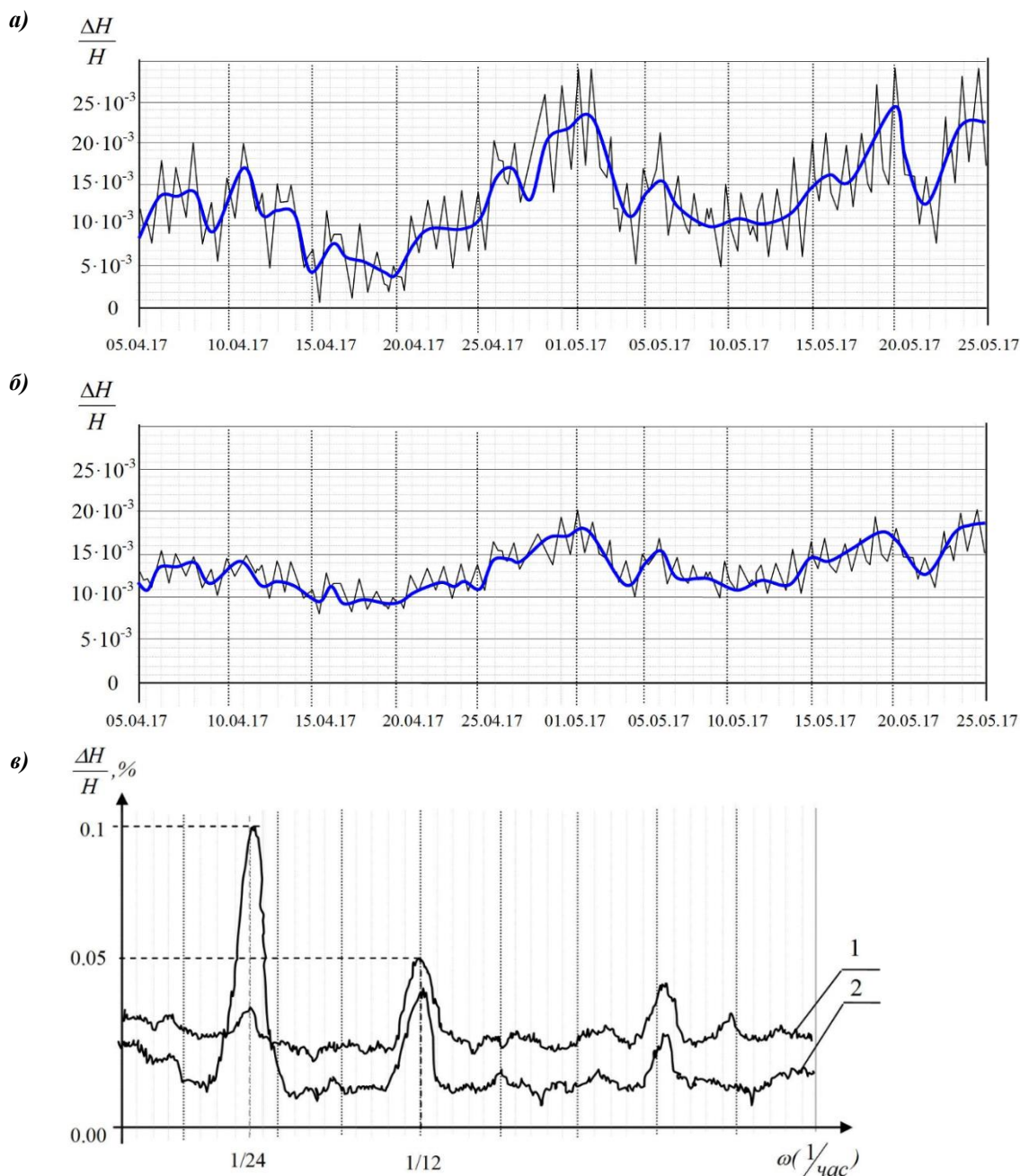


Рисунок 6 - Результаты экспериментальных исследований: а) фазометрическим методом, б) эквипотенциальным методом, в) спектры регистрируемых геоэлектрических сигналов

Как видно из представленных графиков видно, что при использовании фазометрического метода геодинимического контроля идет компенсационное подавление мультипликативных помех по всему частотному диапазону (кривая 1) по отношению к эквипотенциальному методу (кривая 2). Причем ослабление на основной частоте климатических помех $\omega = 1/24 \text{ час}^{-1}$ составляет $\delta = 38 \text{ дБ}$.

Заключение

Отличительной особенностью применения рассматриваемого в настоящей статье фазометрического геоэлектрического метода контроля для решения задач геодинимического мониторинга является использование в качестве информативного параметра фазы φ результирующего сигнала, что позволяет обеспечить метрологическую стабильность геодинимических измерений.

Установлено, что мультипликативная помеха не влияет на регистрируемую фазу φ_y , а по фазе φ_x мультипликативная помеха ослаблена в n раз. Построенные теоретические зависимости величины ослабления мультипликативных помех в зависимости от относительного изменения залегания кровли карстовой полости $\Delta h/h$ при различных значениях пространственного параметра размещения измерительной установки R/h подтверждают метрологические возможности фазометрического метода.

Для проверки теоретических положений по применимости метода в карстологических исследованиях было разработано оригинальное устройство регистрации геодинимики приповерхностных неоднородностей, использующее фазометрический метод, для экспериментальных работ геодинимического контроля карстовых процессов.

Результаты экспериментальных натурных исследований подтвердили преимущество фазометрического метода, характеризующее компенсационным подавлением мультипликативных помех по всему частотному диапазону, по сравнению с эквипотенциальным методом. Так в ходе экспериментальных работ установлено, что при использовании фазометрического метода геодинимического контроля осуществляется ослабление климатических помех на основной частоте $\omega = 1/24 \text{ час}^{-1}$ на 38 дБ.

Работа выполнена по гранту Минобрнауки России №5.3606.2017/ПЧ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гвоздѣв Д.А., Тарасюк В.П. Разработка электронной системы контроля параметров геоэлектрического разреза участка земли // Известия ЮФУ. Технические науки. 2007. № 3 (75). С. 27-33
2. Мазуренко М.В., Цуканов К.Г. Методика выявления провалоопасных зон над горными выработками методом электротомографии // Региональная экономика: технологии, экономика, экология и инфраструктура. Материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 20-летию ТувИКОПР СО РАН. Тувинский институт комплексного освоения природных ресурсов СО РАН. 2015. С. 154-158.
3. Антонов Ю.Н., Эпов М.И., Каюров К.Н. Новые электромагнитные изопараметрические зондирования // Каротажник. 2010. № 5 (194). С. 61-82
4. Кузичкин О.Р., Цаплев А.В. Поляризационные характеристики электролокационных сигналов и их анализ в системе геомониторинга // Радиотехника. 2006. № 11. С. 86-90
5. Romanov R.V. Kuzichkin O.R. Estimation of bias currents in the electrolocation monitoring system of the upper aquifer. // 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Albena; Bulgaria; 18 through 24 June 2015 Pages 213-220;
6. Цаплев А.В., Кузичкин О.Р., Кулигин М.Н. Методы повышения стабильности измерительного тракта в многоканальных геоэлектрических системах // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2008. № 10. С. 124-128

7. Горюнов А.С., Киселев Е.С., Ларионов Е.И. Способ пространственной частотно-временной геоэлектроразведки (FTEM-3D) // Патент на изобретение RUS 2446417 06.05.2010
8. Кузичкин О.Р. Алгоритмы для сигналов в многополюсных электролокационных системах // Радиотехника. 2007. № 6. С. 60-63
9. Адушкин В.В., Спивак А.А. Физические поля в приповерхностной геофизике. М: ГЕОС, 2014. 360 с.
10. Кузичкин О.Р., Финогенов С.А. Интерпретация фазовых искажений поля точечного источника разломом двух сред // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2004. № 5. С. 45-49.
11. Ершова К.В. Географические исследования озер Нижегородской области: научные открытия и перспективы природопользования // Discovery Science – 2016 сборник конкурстных работ международного интеллектуального конкурса студентов и аспирантов. Москва, 2016. С. 358-366
12. Кузичкин О.Р. Оценка влияния токов смещения на результаты обработки временных рядов геомониторинга карста // Методы и устройства передачи и обработки информации. 2006. № 7. С. 59-64
13. Кузичкин О.Р. Алгоритм формирования оптимальных зондирующих сигналов при электролокационном мониторинге // Радиотехника. 2006. № 6. С. 119-122.
14. Кузичкин О.Р. Программно-аппаратная организация электролокационных систем при геомониторинге карста // Проектирование и технология электронных средств. 2006. № 4. С. 54-58.
15. Константинов И.С., Кузичкин О.Р. Организация систем автоматизированного контроля геодинимических объектов // Известия Орловского государственного технического университета. Серия: Информационные системы и технологии. 2008. № 4-3. С. 9.

Дорофеев Николай Викторович

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых, Владимирская обл., г. Муром, Россия,
к.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Управление и контроль в технических системах»,
E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Кузичкин Олег Рудольфович

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия,
д.т.н., профессор,
E-mail: oldolkuz@yandex.ru

Греченева Анастасия Владимировна

Белгородский государственный национальный исследовательский университет, г. Белгород, Россия,
аспирант, кафедра Математического и программного обеспечения информационных систем
E-mail: 1155464@bsu.edu.ru

Романов Роман Вячеславович

Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и
Николая Григорьевича Столетовых, Владимирская обл., г. Муром, Россия,
к.т.н., доцент,
E-mail: romanov.roman.5@yandex.ru

DOROFEEV N.V., KUZICHKIN O.R., GRECHENEVA A.V., ROMANOV R.V.

**CONTROL OF THE CHANGES IN THE STATE
OF SOILS DURING GEOTECHNICAL MONITORING
BASED ON THE PHASE-MEASURING SYSTEMS**

The article discusses the use of the phase-measuring method for control of the changes in the state of soils during geotechnical monitoring in the context of activation of karst processes. The influence of multiplicative errors of the natural character on the results of geodynamic control in geotechnical monitoring systems is analyzed. The use of the phase-measuring method allows to increase the accuracy of geodynamic control by eliminating the multiplicative errors. The necessity of adapting the phase method to the conditions of strong multiplicative error when organizing geodynamic control of karst processes is noted. A theoretical estimate of the attenuation of multiplicative noise is given on the example of a geodynamic control model of a karst suffusion cavity using a bipolar phase-measuring electrical installation with a base equal to twice the cavity radius. Describes the measurement setup for

the registration of near-surface geodynamics. A scheme of the device for recording geodynamics of near-surface inhomogeneities, developed for experimental work in the field simulation of geodynamic control of the development of a karst suffusion cavity using a two-pole phase-measuring electrical installation, is described. The results of the field simulation of the development of the karst-suffusion cavity using a bipolar phase-measuring electrical installation are presented. The results of experimental field studies confirmed the advantage of the phase method, characterized by compensatory suppression of multiplicative interference over the entire frequency range, compared with the equipotential method. As a result of the experiment, it was shown that when using the phase-measuring method of geodynamic control, there is a compensatory suppression of multiplicative interference over the entire frequency range. It is established that the multiplicative interference does not affect the recorded phase, and the multiplicative interference is weakened. The theoretical dependences of the magnitude of the attenuation of multiplicative noise as a function of the relative change in the occurrence of the roof of the karst cavity at different values of the spatial parameter of the placement of the measurement setup are constructed, confirming the metrological capabilities of the phase-measuring method.

Key words: geotechnical monitoring, soil foundation, phase-measuring method, geodynamic control, geoelectric signal, multiplicative error, monitoring, karst processes.

REFERENCES

1. Gvozdev D.A., Tarasyuk V.P. Razrabotka elektronnoy sistemy kontrolya parametrov geoelektricheskogo razreza uchastka zemli [Development of an electronic system for monitoring the parameters of a geoelectrical section of a piece of land]. *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskiye nauki*. 2007. No 3 (75). Pp. 27-33. (rus)
2. Mazurenko M.V., Tsukanov K.G. Metodika vyyavleniya provaloopasnykh zon nad gornymi vyrabotkami metodom elektrotomografii [Methods of identifying failure-prone areas above the mine workings by the method of electro-tomography]. *Regional'naya ekonomika: tekhnologii, ekonomika, ekologiya i infrastruktura. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchonnoy 20-letiyu TuvIKOPR SO RAN. Tuvinskiy institut kompleksnogo osvoiniya prirodnikh resursov SO RAN* [Regional economy: technology, economics, ecology and infrastructure. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference dedicated to the 20th anniversary of TuvIKOPR SB RAS. Tuva Institute of Integrated Natural Resources Development SB RAS]. 2015. Pp. 154-158. (rus)
3. Antonov Yu.N., Epov M.I., Kayurov K.N. Novyye elektromagnitnyye izoparametricheskiye zondirovaniya [New Electromagnetic Isoparametric Soundings]. *Karotazhnik*. 2010. No 5 (194). Pp. 61-82. (rus)
4. Kuzichkin O.R., Tsaplev A.V. Polyarizatsionnyye kharakteristiki elektrolokatsionnykh signalov i ikh analiz v sisteme geomonitoringa [Polarization characteristics of electrolocation signals and their analysis in a geomonitoring system]. *Radiotekhnika*. 2006. No 11. Pp. 86-90. (rus)
5. Romanov R.V., Kuzichkin O.R. Estimation of bias currents in the electrolocation monitoring system of the upper aquifer. 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM Albena; Bulgaria; 18 through 24 June 2015 Pages 213-220.
6. Tsaplev A.V., Kuzichkin O.R., Kuligin M.N. Metody povysheniya stabil'nosti izmeritel'nogo trakta v mnogokanal'nykh geoelektricheskikh sistemakh [Methods to improve the stability of the measuring path in multichannel geoelectric systems]. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*. 2008. No 10. Pp. 124-128. (rus)
7. Goryunov A.S., Kiselev Ye.S., Larionov Ye.I. Sposob prostranstvennoy chastotno-vremennoy geoelektro-razvedki (FTEM-3D). Patent na izobretenieyе RUS 2446417 06.05.2010 [The method of spatial frequency-time geoelectro-prospecting (FTEM-3D) // Patent for invention RUS 2446417 06.05.2010]. (rus)
8. Kuzichkin O.R. Algoritmy dlya signalov v mnogopolyusnykh elektrolokatsionnykh sistemakh [Algorithms for signals in multipolar electrolocation systems]. *Radiotekhnika*. 2007. No 6. Pp. 60-63. (rus)
9. Adushkin V.V., Spivak A.A. Fizicheskiye polya v pripoverykhnostnoy geofizike [Physical fields in near-surface geophysics]. Moscow: GEOS. 2014. 360 p. (rus)
10. Kuzichkin O.R., Finogenov S.A. Interpretatsiya fazovykh iskazheniy polya tochechnogo istochnika razdelom dvukh sred [Interpretation of phase distortions of a point source field by two media]. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*. 2004. No 5. Pp. 45-49. (rus)
11. Yershova K.V. Geograficheskiye issledovaniya ozer Nizhegorodskoy oblasti: nauchnyye otkrytiya i perspektivy prirodopol'zovaniya [Geographical studies of lakes in the Nizhny Novgorod region: scientific discoveries and environmental perspectives]. *Discovery Science – 2016 sbornik konkursnykh rabot mezhdunarodnogo intellektual'nogo konkursa studentov i aspirantov* [Discovery Science - 2016 collection of competitive works of the international intellectual competition of students and graduate students]. Moscow, 2016. Pp. 358-366. (rus)
12. Kuzichkin O.R. Otsenka vliyaniya tokov smeshcheniya na rezul'taty obrabotki vremennykh ryadov geomonitoringa karsta [Evaluation of the impact of bias currents on the results of processing time series of geo-nitrating karst]. *Metody i ustroystva peredachi i obrabotki informatsii*. 2006. No 7. Pp. 59-64. (rus).

13. Kuzichkin O.R. Algoritm formirovaniya optimal'nykh zondiruyushchikh signalov pri elektrolokatsi-onnom monitoringe [Algorithm for the formation of optimal probing signals during electrolocation monitoring]. *Radiotekhnika*. 2006. No 6. Pp. 119-122. (rus)

14. Kuzichkin O.R. Programmno-apparatnaya organizatsiya elektrolokatsionnykh sistem pri geomonito-ringe karsta [Software and hardware organization of electrolocation systems in the geomonito-ring of karst]. *Proyektirovaniye i tekhnologiya elektronnykh sredstv*. 2006. No 4. Pp. 54-58. (rus)

15. Konstantinov I.S., Kuzichkin O.R. Organizatsiya sistem avtomatizirovannogo kontrolya geodinamicheskikh ob'yektov [Organization of automated control systems for geodynamic objects]. *Izvestiya Orlovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Informatsion-nyye sistemy i tekhnologii*. 2008. No 4-3. Pp. 9. (rus)

Dorofeev Nikolay V.

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Vladimir, Russia, Ph.D., Associate Professor, Head of the Department "Management and Control in Technical Systems",
E-mail: DorofeevNV@yandex.ru

Kuzichkin Oleg R.

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia,
Doctor of Technical Sciences, Professor
E-mail: oldolkuz@yandex.ru

Grecheneva Anastasia V.

Belgorod State National Research University, Belgorod, Russia,
Postgraduate Student, Department of Mathematical and Software Information Systems
E-mail: 1155464@bsu.edu.ru

Romanov Roman V.

Vladimir State University named after Alexander Grigorievich and Nikolai Grigorievich Stoletovs, Vladimir, Russia, Ph.D., Associate Professor,
E-mail: romanov.roman.5@yandex.ru

ТАМРАЗЯН А.Г., РАШИДОВ Б.Т.

К УРОВНЮ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ МОМЕНТОВ В СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛКАХ

Перераспределение моментов обеспечивает привлекательную альтернативу нелинейных методов анализа. Существуют значительные различия между нормами проектирования для перераспределения момента. Эта работа пытается установить соответствующие ограничения на допустимое перераспределение моментов в железобетонных конструкциях. Рассмотрены влияния некоторых факторов на уровни перераспределения моментов в статически неопределимых железобетонных балках. Получено уравнение для определения допустимого уровня перераспределения моментов с учётом требований податливости и предела пластичности. Показано влияние зависимости допустимого угла поворота в области пластического шарнира. Аналитическая модель разрабатывается для расчета коэффициента β , допустимого процента снижения момента на участке из-за перераспределения момента. Модель сравнивается с экспериментальными результатами и показывает хорошее согласие. Максимальный предел для β составляет 20%. Для предельного состояния, с благоприятным сочетанием параметров, модель позволит β превысить до 50%.

Ключевые слова: железобетонная балка, перераспределение моментов, податливость, пластический шарнир.

Перераспределение моментов позволяет использовать эпюру изгибающих моментов, вычисленную методом упругого расчёта и модифицировать ее для учёта пластической работы конструкции. Обычно перераспределение моментов осуществляется путем уменьшения отрицательного момента в первой пластической шарнирной области с соответствующими изменениями положительных моментов, требуемым равновесием. Изменения моментов могут быть такими, чтобы уменьшить как максимальные положительные, так и отрицательные моменты на эпюре огибающей. Соответственно, перераспределение моментов может уменьшать размещение арматуры на участках с отрицательным моментом без какого-либо ее увеличения в области положительного момента.

Упругий расчёт статически неопределимых железобетонных балок не может показать реалистичное поведение конструкции при предельных нагрузках. Согласно нормам, неразрезные конструкции должны быть спроектированы таким образом, чтобы противостоять более одной схемы временной нагрузки. Поэтому для любых схем загрузки определённые участки в пролёте достигают предельного момента, в то время как полная несущая способность в других участках не используется. Экспериментальные исследования, проведённые в [1] показали, что конструкция может нести часть дополнительной нагрузки до ее пластической стадии, если участки, которые достигают своих предельных моментов, как пластические шарниры продолжают поворачиваться и перераспределяют моменты на другие участки до тех пор, пока не образуется механизм разрушения. Такая дополнительная несущая способность обеспечивает возможность перераспределения моментов в конструкциях.

В действительности перераспределение изгибающих моментов в статически неопределимых конструкциях отличается от распределения, получившего по упругому расчёту [3, 5, 7-12].

За рубежом нормативные документы определяют допустимый уровень перераспределение моментов по-разному. Некоторые нормативные документы, такие как CAN-A23.2, AS 3600, BS 8110 и CEB-FIP, определяют допустимый уровень перераспределение моментов непосредственно на основе отношения высоты нейтральной оси $y=x$ к рабочей высоты балки, h_0 . ACI 318-99 ограничивает процент перераспределения моментов до максимального значения 20%. Используя уравнения равновесия на участках балки, допустимый уровень перерас-

пределения моментов может быть выражен как функция от x/h_0 . Такая зависимость показана на рис. 1 для шести нормативных документов.

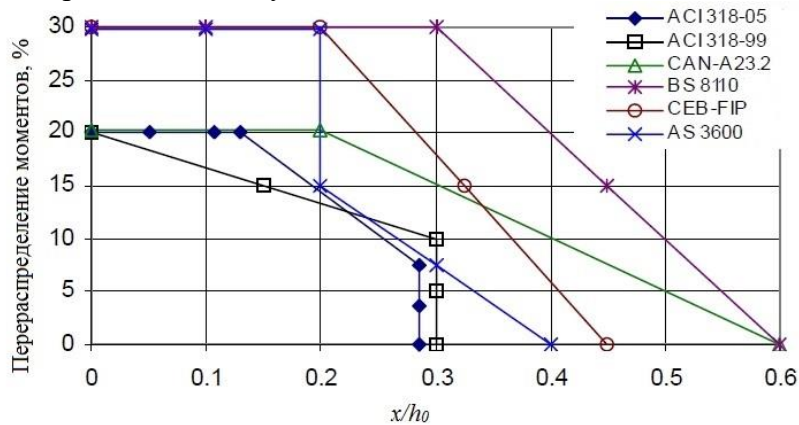


Рисунок 1 – Допустимый уровень перераспределения моментов в зависимости от отношения x/h_0 для разных нормативных документов

ACI 318 и CAN-A23.2 ограничивают максимальное перераспределение до 20%, в то время как остальные 4 нормативные документы ограничивают перераспределение моментов до максимального значения 30% (рис.1). В отечественной литературе предел перераспределения моментов ограничивается до 30%. Данный предел существенно не изменяет кривизну и ширину раскрытия трещины в неразрезных железобетонных балках, рассчитанной по теории упругости [1,3,5].

С другой стороны, отношение x/h_0 может быть легко выражено как функция чистой растягивающей деформации в предельно растянутой арматуре ϵ_s , используя уравнения совместимости на диаграмме деформации участка балки. Такие соотношения показаны на рисунке 2 для соответствующих выражений в вышеупомянутых 6 нормах. Из этого рисунка видно, что ACI 318 и CAN-A23.2 рассмотрели более консервативный запас прочности для перераспределения моментов по сравнению с другими четырьмя нормами.

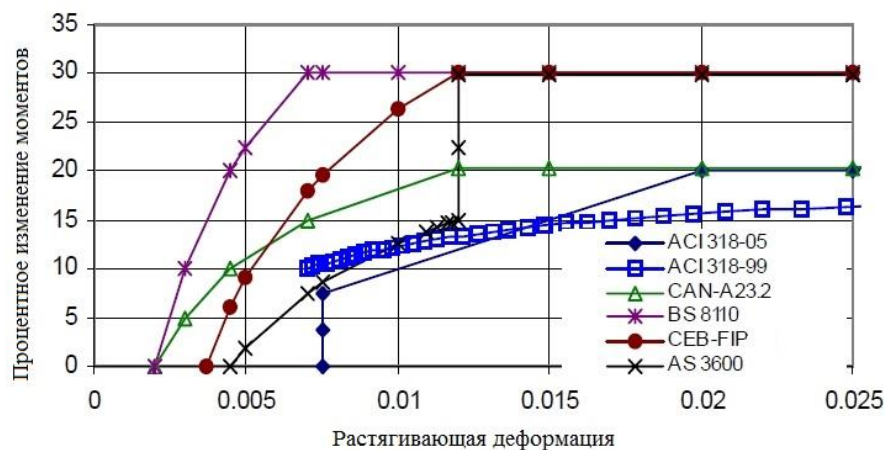


Рисунок 2 - График зависимости уровня перераспределения момента от деформации растяжения по разным нормативным документам

В неразрезной, защемлённой концами железобетонной балке длиной l , нагруженной равномерно распределённой нагрузкой q , максимальные моменты на опоре и в середине пролёта балки, полученные по упругому расчёту являются M_{on}^{ynp} и M_{np}^{ynp} . Эти значения соот-

ветственно будут изменены на M_{on}^p и M_{np}^p после завершения перераспределения. Процент перераспределения моментов в области отрицательного момента, R , определяется следующим образом:

$$R = \frac{M_{on}^{ynp} - M_{on}^p}{M_{on}^{ynp}} \cdot 100. \quad (1)$$

Из уравнения (1) M_{on}^p можно выразить через процент перераспределения момента, R и упругого момента на опоре M_{on}^{ynp} :

$$M_{on}^p = \frac{M_{on}^{ynp} (1 - R)}{100}. \quad (2)$$

Требования к податливости

Предположим, что неразрезная балка имеет постоянную жёсткость EI и на опорах имеется место пластического шарнира. Следовательно, значение поворота пластического шарнира с использованием метода моментных площадей, как показано на рис.3, может быть выражено:

$$\theta_p^d = (\theta_p' - \theta_p'') = \frac{l}{2EI} \left(\frac{ql^2}{12} - M_{on}^p \right), \quad (3)$$

где E - модуль упругости; I - момент инерции балки, а θ_p' и θ_p'' показаны на рисунке 4.

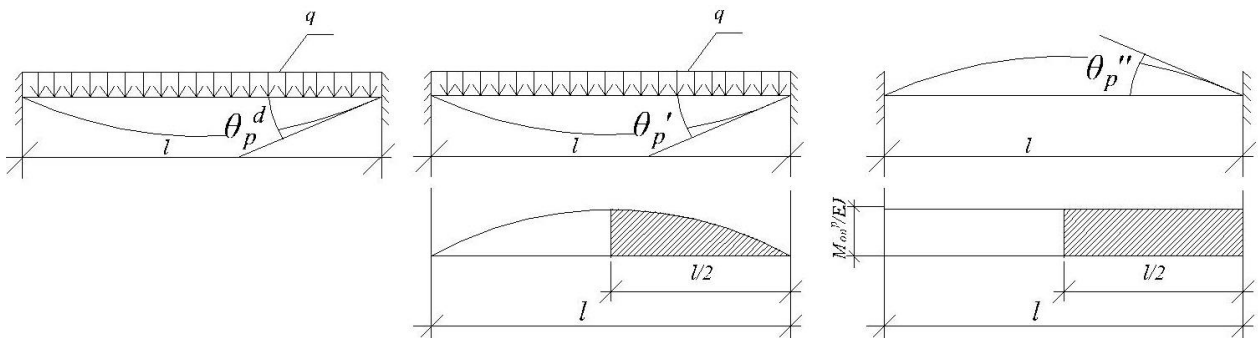


Рисунок 3 - Углы поворота с использованием метода моментных площадей

Соотношения между углом поворота пластического шарнира и кривизной критического сечения, получаемой из [6], имеет вид:

$$\theta_p^a = (f_u - f_y)l_p, \quad (4)$$

где f_u – предельная кривизна балки, f_y - кривизна при текучести арматуры, а l_p – рабочая длина пластического шарнира. Кроме того, на основе диаграммы билинейной кривизны момента для участка балки можно выразить кривизну сечения с текучестью в виде:

$$f_y = M_{on}^p / EI. \quad (5)$$

Чтобы иметь достаточную пластичность для возникновения полного перераспределения момента в неразрезных балках, значение θ_p^a должно быть равно или больше θ_p^d . Чтобы удовлетворить этому требованию, подставим значение EI из уравнения (5) в уравнение (3) получим:

$$(f_u - f_y)l_p \geq \frac{l}{2} \left(\frac{ql^2 f_y}{12M_{on}^p} - f_y \right), \quad (6)$$

$$\frac{f_u}{f_y} \geq 1 + \frac{l}{2l_p} \left(\frac{ql^2}{12M_{on}^p} - 1 \right). \quad (7)$$

Подставляя M_{on}^p из уравнения (2) в уравнение (7) получаем:

$$\frac{f_u}{f_y} \geq 1 + \frac{l}{2l_p} \left(\frac{(ql^2 / 12)}{M_{on}^{ynp} (1 - R / 100)} - 1 \right), \quad (8)$$

где f_u / f_y - требуемая кривизна для обеспечения необходимой податливости.

Степень податливости

Кривизна сечения балки при его предельном режиме работы относительно диаграммы деформации при разрушении имеет вид:

$$f_u = \varepsilon_{bu} / x_R, \quad (9)$$

где $\varepsilon_{bu} \cong 0,003$ предельная деформация бетона. Кривизна при текучести получается как:

$$f_y = \varepsilon_{s0} / [h_0 (1 - \xi)], \quad (10)$$

где ε_{s0} значения относительных деформаций арматуры; h_0 – рабочая высота сечения. Значение ξ , относительную высоту сжатой зоны на грани текучести арматуры можно получить следующим образом [2]:

$$\xi = \frac{x_m}{h_0} = \sqrt{(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})^2 + 2 \left(\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1} \frac{a'}{h_0} \right) - (\mu_s \alpha_{s2} + \mu'_s \alpha_{s1})}, \quad (11)$$

где α_1 и α_2 коэффициенты приведения сжатой и растянутой арматуры к бетону, a' расстояние от оси сжатой арматуры до крайнего сжатого волокна бетона (рис.4).

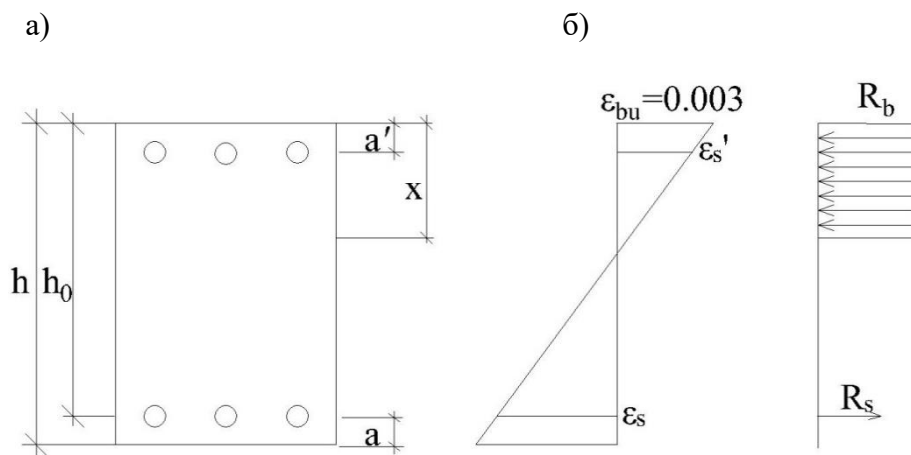


Рисунок 4 - Схема приведённого поперечного сечения (а) и напряженно-деформированного состояния элемента с трещинами (б)

Разделив соотношения (9) и (10), запишем коэффициент степени пластичности следующим образом:

$$\eta_f = \frac{f_u}{f_y} = \frac{\varepsilon_{b2}(1-\xi)}{\varepsilon_s \cdot \xi} . \quad (12)$$

Зависимость ξ и ε_s с использованием уравнения совместимости деформаций, как показано на рис.4, может быть выражена как:

$$\xi_R = \frac{x_R}{h_0} = \frac{0,8}{1 + \frac{\varepsilon_{s,el}}{\varepsilon_{b2}}} , \quad (13)$$

где h_0 - расстояние от крайнего сжатого волокна до оси растянутой арматуры; $\varepsilon_{s,el}$ - относительная деформация растянутой арматуры; ε_{b2} - относительная деформация сжатого бетона. Кроме того, отношение x_R/h_0 может быть получено следующим образом:

$$x_R / h_0 = 0.8 \left[\varepsilon_{bu} / (\varepsilon_{s,el} + \varepsilon_{b2}) \right] . \quad (14)$$

Подставляя значение x_R/h_0 в уравнение (12), отношение f_u/f_y будет выглядеть следующим образом:

$$\eta_f = \frac{f_u}{f_y} = \frac{(\varepsilon_{b2} + \varepsilon_{s,el})(1-\xi)}{0,8(h_0)(\varepsilon_s)} . \quad (15)$$

Допустимый уровень перераспределение моментов

Допустимый угол поворота и степень пластичности для перераспределения моментов в неразрезных изгибающих элементах будет обеспечен, если требование к пластичности, по меньшей мере, будет равно требованию к обеспечению податливости. Приравнявая правую часть неравенства (8) и (15), допустимый уровень перераспределение моментов R можно записать в виде:

$$R = 100 \left(1 - \frac{ql^2 / 12}{M_{on}^{ynp} \left(\frac{2l_p}{l} \left[\frac{(\varepsilon_{s,el} + \varepsilon_{b2})(1-\xi)}{0.8h_0\varepsilon_s} - 1 \right] + 1 \right)} \right) , \quad (16)$$

где l_p – эквивалентная длина пластического шарнира.

Необходимо по [2, 8] устанавливать границу перераспределения моментов из условий обеспечения трещиностойкости.

Изменение допустимого уровня перераспределения моментов в зависимости от относительной деформации растянутой арматуры на участке неразрезной балки с $l/l_p=38$, $R_s=400$ МПа, $\varepsilon_{b2}=0,003$, h_0 и упругим опорным моментом $M_{on}=ql^2/12$. показано на рисунке 5.

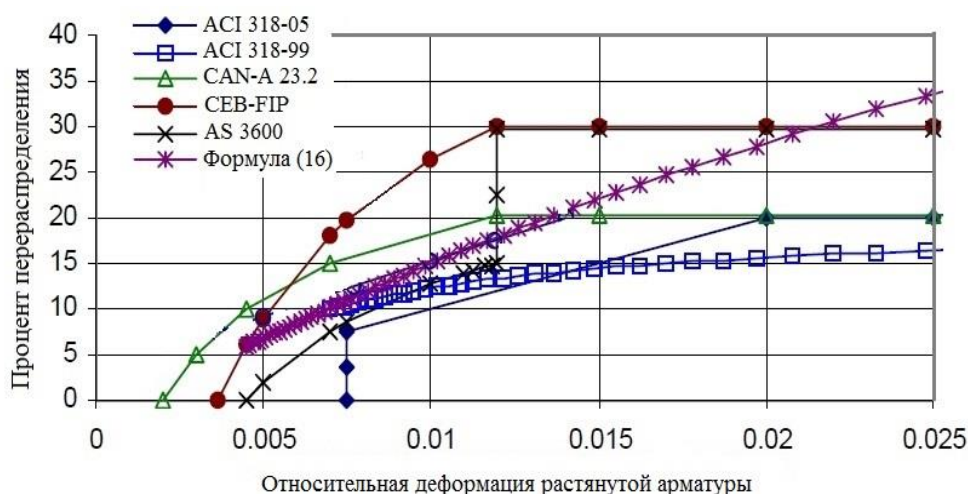


Рисунок 5 - Изменение допустимого значения перераспределения момента в зависимости от относительной деформации растянутой арматуры по формуле (16) и по разным нормам

Нормативный документ ACI 318-05 учитывает перераспределения моментов с запасом, в то время как другие стандарты представляют собой более высокие значения перераспределения: например, AS3600 и CEB-FIP показывают высокие значения перераспределения моментов при $\varepsilon_{s,el}=0,012-0,02$ и $\varepsilon_{s,el}=0,005-0,02$, соответственно. Заметим, что уравнение (16) также непосредственно может быть использовано для перераспределения моментов в неразрезных железобетонных балках (рис. 5).

Выводы

При условии минимального пластического поворота на участках балки с пластическими шарнирами, получено уравнение допустимого перераспределения моментов в выражении ε_s для арматуры, а также в соотношении деформации растянутой и сжатой арматуры. Проведено сравнение перераспределения моментов с положениями некоторых действующих норм зарубежных стран, в том числе ACI 318-05, CAN-a23.2, AS 3600, BS 8110 и некоторых случаях нормы CEB-FIP. В отечественных нормативных документах допустимый уровень перераспределения не регламентирован. Результаты исследования в рамках допущений, которые были сделаны в анализе, заключаются в следующем:

1. Увеличение деформации в растянутой арматуре повышает допустимое значение перераспределения моментов.
2. Допустимый уровень перераспределения моментов уменьшается за счет уменьшения прочности бетона на сжатие.
3. Сжатая арматура выгодно влияет на увеличение уровня перераспределения моментов. Более высокие значения отношений сжатой и растянутой арматуры на участке балки увеличивают значение перераспределения моментов.
4. В большинстве случаев значение перераспределения моментов в нормативном документе ACI 318-05 учтено с запасом. Однако, другие вышеупомянутые нормы, то есть канадские, австралийские и европейские, обеспечивают чрезмерные значения перераспределения моментов соответственно для случаев, когда $\varepsilon_{s,el} < 0,02$, $\varepsilon_{s,el} > 0,012$ и $0,005 < \varepsilon_{s,el} < 0,025$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Крылов С.М. Перераспределение усилий в статически неопределимых конструкциях. М., 1964. - 169 с.
2. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52.01.2003. М: 2013. 156 с.

3. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон: проблемы и перспективы // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 7. С. 51-54.
4. Тамразян А.Г., Орлова М.А. К остаточной несущей способности железобетонных балок с трещинами // Жилищное строительство. 2015. № 6. С. 23-24.
5. Кальницкий А.А. Расчёт статически неопределимых железобетонных конструкций с учётом перераспределения усилий. М., 1970. 168 с.
6. Park, R. & Paulay, T. Reinforced concrete structures. John Wiley & Sons, 1975.
7. Шалобыта Н.Н., Царук О.Г., Полонский М.Ч., Демчук И.Е. Численное исследование перераспределения усилий в железобетонных элементах с комбинированным армированием // Вестник Брестского государственного технического университета. 2016. № 1(97). С. 86–92.
8. Черняева Р.П. К определению границ перераспределения усилий при расчете статически неопределимых железобетонных балок по методу предельного равновесия // Строительство и реконструкция. 2014. №1 (51). С. 41-45.
9. Андросова Н.Б., Ключева Н.В., Колчунов В.И. Некоторые предложения к нормированию параметров живучести сооружений // Вестник Отделения строительных наук Российской академии архитектуры и строительных наук. 2011. № 15. С. 17-25.
10. Бондаренко В.М., Ключева Н.В., Колчунов В.И., Андросова Н.Б. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести // Строительство и реконструкция. 2012. № 4 (42). С. 3-16.
11. Бондаренко В.М., Колчунов В.И. Экспозиция живучести железобетона // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 5 (581). С. 4-8.
12. Карпенко Н.И., Колчунов В.И. О концептуально-методологических подходах к обеспечению конструктивной безопасности // Строительная механика и расчет сооружений. 2007. № 1 (210). С. 4-8.

Тамразян Ашот Георгиевич

Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия,

Доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой железобетонных и каменных конструкций (ЖБК),

E-mail: tamrazian@mail.ru

Рашидов Бехруз Тохтарович

Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия,

Аспирант кафедры железобетонных и каменных конструкций, инженер лаборатории натурных испытаний (ЛНИ) НИУ МГСУ,

E-mail: erkin_r@mail.ru

TAMRAZYAN A.G., RASHIDOV B.T.

TO THE LEVEL OF REDISTRIBUTION OF MOMENTS IN STATICALLY UNCERTAINABLE REINFORCED CONCRETE BEAMS

The redistribution of moments provides an attractive alternative to nonlinear methods of analysis. There are significant differences between design standards for moment redistribution. This work attempts to establish appropriate constraints on the permissible redistribution of moments in reinforced concrete structures. The article influences of some factors on the levels of redistribution of moments in statically indefinable reinforced concrete beams are considered. An equation is obtained for determining the allowable level of moment redistribution taking into account the requirements of compliance and the limit of plasticity. The influence of the dependence of the permissible angle of rotation in the plastic hinge is shown. An analytical model is being developed to calculate the coefficient β , the allowable percentage of the moment reduction in the area due to the redistribution of the moment. The model is compared with the experimental results and shows good agreement. The maximum limit for β is 20%. For the limiting state, with a favorable combination of parameters, the model will allow β to exceed 50%.

Keywords: reinforced concrete, beam, redistribution of moments, ductility, plastic hinge.

REFERENCES

1. Krylov S.M. Pereraspredeleniye usiliy v staticheski neopredelimykh konstruktsiyakh [Redistribution of efforts in statically indefinable constructions]. Moscow, 1964. 169 p. (rus)
2. Russian Building Code SP 63.13330.2012 Betonnyye i zhelezobetonnyye konstruksii. Osnovnyye polozheniya. Aktualiziro-vannaya redaktsiya SNiP 52.01.2003 [Concrete and reinforced concrete structures. The main provisions. Updated edition of the SNiP 52.01.2003]. Moscow, 2013. 156 p. (rus)
3. Tamrazyan A.G. Beton i zhelezobeton: problemy i perspektivy [Concrete and reinforced concrete: problems and prospects]. Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo. 2014. No 7. Pp. 51-54. (rus)
4. Tamrazyan A.G., Orlova M.A. K ostatochnoy nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh balok s treshchinyami [To residual bearing capacity of reinforced concrete beams with cracks]. Zhilishchnoye stroitel'stvo. 2015. No 6. Pp. 23-24. (rus)
5. Kal'nitskiy A.A. Raschot staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh konstruktsey s uchotom pereraspredeleniya usiliy [Calculation of statically indefinable reinforced concrete structures, taking into account the redistribution of forces]. Moscow, 1970. 168 p. (rus)
6. Park R. & Paulay T. Reinforced concrete structures. John Wiley & Sons, 1975.
7. Shalobyta N.N., Tsaruk O.G., Polonskiy M.CH., Demchuk I.Ye. Chislennoye issledovaniye pereraspredeleniya usiliy v zhelezobetonnykh elementakh s kombinirovannym armirovaniyem [Numerical research of redistribution of efforts in reinforced concrete elements with combined reinforcement]. Vestnik Brestskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2016. No 1(97). Pp. 86-92. (rus)
8. Chernyayeva R.P. K opredeleniyu granits pereraspredeleniya usiliy pri raschete staticheski neopredelimykh zhelezobetonnykh balok po metodu predel'nogo ravnovesiya [To determine the limits of redistribution of efforts in the calculation of statically non-selectable reinforced concrete beams using the method of limiting equilibrium]. Building and Reconstruction. 2014. No 1 (51). Pp. 41-45. (rus)
9. Androsova N.B., Klyuyeva N.V., Kolchunov V.I. Nekotoryye predlozheniya k normirovaniyu parametrov zhivuchesti sooruzheniy [Some proposals for the regulation of survivability parameters of structures]. Vestnik Otdeleniya stroitel'nykh nauk Rossiyskoy akademii arkhitektury i stroitel'nykh nauk. 2011. No 15. Pp. 17-25. (rus)
10. Bondarenko V.M., Klyuyeva N.V., Kolchunov V.I., Androsova N.B. Nekotoryye rezul'taty analiza i obobshcheniya nauchnykh issledovaniy po teorii konstruktivnoy bezopasnosti i zhivuchesti [Some results of the analysis and synthesis of scientific studies on the theory of constructive safety and survivability]. Building and Reconstruction. 2012. No 4 (42). Pp. 3-16. (rus)
11. Bondarenko V.M., Kolchunov V.I. Ekspozitsiya zhivuchesti zhelezobetona [Exposure of survivability of reinforced concrete]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo. 2007. No 5 (581). Pp. 4-8. (rus)
12. Karpenko N.I., Kolchunov V.I. O kontseptual'no-metodologicheskikh podkhodakh k obespecheniyu konstruktivnoy bezopasnosti [On the conceptual and methodological approaches to ensuring constructive safety]. Stroitel'naya mekhanika i raschet sooruzheniy. 2007. No 1 (210). Pp. 4-8. (rus)

Tamrazyan Ashot G.

National research Moscow state University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Doctor of technical Sciences, Professor, Head of the reinforced concrete and masonry structures department,
E-mail: tamrazian@mail.ru

Rashidov Behruz T.

National research Moscow state University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
Postgraduate of the department of reinforced concrete and masonry structures, Engineer Laboratory field tests MSUCE
E-mail: erkin_r@mail.ru

ТЕЛИЧКО В.Г., ЗОЛОТОВ Н.В.

ПРОЧНОСТЬ МНОГОЭТАЖНОГО ЗДАНИЯ ИЗ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОНА С УЧЕТОМ РАЗНОСОПРОТИВЛЯЕМОСТИ И ПОВРЕЖДАЕМОСТИ МАТЕРИАЛА

Рассмотрено построение конечно-элементной модели для определения напряженно-деформированного состояния многоэтажного здания из монолитного железобетона. При этом учитывается зависимость механических характеристик бетона от вида напряженного состояния, развитие пластических деформации в арматуре, трещинообразование. В качестве определяющих соотношений были приняты уравнения состояния для нелинейных изотропных материалов, предложенных в рамках теории А.А. Трещева, которая базируется на параметрах нормированных пространств напряжений. Характеристики материала определены из опытов на одноосное растяжение и сжатие в условиях простого нагружения. Специально для решения указанной задачи была разработана модификация треугольного гибридного конечного элемента для плиты средней толщины произвольной формы с пятью степенями свободы в узле. Получены необходимые уравнения метода конечных элементов для решения задачи о расчете напряженно-деформированного состояния здания с учетом трещинообразования, разносопротивляемости бетона и пластических деформаций в арматуре. Приведено описание способов моделирования фиктивных слоев элемента, соответствующих различным вариантам напряженно-деформированного состояния железобетона: бетонные слои без трещин, бетонные слои с трещинами, железобетонные слои без трещин и железобетонные слои с трещинами в одном и двух направлениях. Получены результаты решения задачи в виде графиков распределения отдельных перемещений в плитах перекрытия здания. Подтверждено, что учёт усложнённых свойств материала необходим для получения корректных оценок напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций в условиях прогрессирующего трещинообразования.

Ключевые слова: метод конечных элементов, железобетон, монолитный железобетон, многоэтажное здание, разносопротивляемость, трещинообразование, гибридный конечный элемент.

Введение

Интенсивное развитие технологий и науки о материалах в последнее десятилетие, а также всё повышающиеся требования к экономичности и надёжности строительных конструкций предъявляют серьёзные требования к развитию механики и методов расчета. При детальном изучении деформирования некоторых широко используемых в инженерной практике материалов, таких как бетон, было установлено, что их поведение значительно отличается от привычных представлений. Деформационные и прочностные характеристики таких материалов проявляют чувствительность к виду реализуемого в точке напряжённого состояния, причём при эксплуатационных нагрузках зависимости между напряжениями и деформациями оказываются существенно нелинейными. Для определения напряженно-деформированного состояния нелинейных разносопротивляющихся материалов был предложен ряд определяющих соотношений [1 – 6]. Однако, большинство указанных моделей имеют существенные недостатки, ограничивающие их применение для расчета конструкций, находящихся в сложном напряженном состоянии [2]. В данной работе используется вариант уравнений состояния изотропных разносопротивляющихся материалов, базирующийся на методике нормированных пространств напряжений [1].

Важно, что для учета всего комплекса эффектов, связанных с моделированием поведения нелинейных разносопротивляющихся материалов, трещинообразования, пластических деформаций в армировании, необходимо совершенствовать соответствующую вычислительную базу, так как, существующие пакеты прикладных программ, а также известные матема-

тические модели далеко не всегда удовлетворяют требованиям для проведения расчетов с необходимой точностью [1, 2, 7 – 11, 16]. Создание новых математических моделей для описания механического поведения конструкций из железобетона с наиболее полным учетом специальных свойств, а также совершенствование вычислительных моделей, является актуальной задачей строительной отрасли и механики твердого тела [9].

Модели и методы

Как показано в работах [2, 9, 10] эффективными для расчета железобетонных конструктивных элементов являются конечные элементы [12]. Р.Куком получены две модификации гибридных КЭ с тремя различными степенями свободы в узле. Применение указанных элементов к расчету железобетонных конструкций показало, что они не учитывают продольные усилия и перемещения в срединной поверхности, а также затрудняют определение вектора обобщенных сил в центре КЭ [2, 8]. Авторами была разработана модификация треугольного КЭ с пятью степенями свободы в узле на основе теории деформирования изотропных разнсопротивляющихся материалов А.А. Трещева, учитывающая продольные усилия и деформации поперечного сдвига, позволяющая просто и эффективно исследовать прочность конструкций. Процедуры связанные с получением матрицы жесткости данного конечного элемента описаны в работах [2, 12, 13].

Математическая модель определения НДС армированных элементов, из которых состоит здание, должна достаточно точно учитывать специфические особенности взаимодействия сложной среды «бетон-арматура» на различных стадиях, быть вполне обозримой и практически реализуемой. Модель не может свободной от дополнительных технических гипотез, принимается справедливым следующее [8, 9], в частности: 1) арматура моделируется «размазанным» слоем с учетом коэффициентов армирования в соответствующих направлениях; 2) элементы разбиваются на ряд фиктивных слоев по толщине: а) бетонные слои без трещин; б) железобетонные слои без трещин; в) бетонные слои с трещинами; г) железобетонные слои с трещинами; д) железобетонные слои с пересекающимися трещинами, 3) критерий прочности бетона применяется П.П.Баландина [8]; 4) влияние растянутого бетона учитывается коэффициентом В.И.Мурашева и характеристикой поврежденности бетона [8, 15].

Рассмотрим моделирование фиктивных слоев.

Неармированные слои без трещин. Связь между деформациями и напряжениями имеет следующий вид:

$$\{e\} = [A]\{\sigma\}, \quad (1)$$

где $[A]$ – симметричная квадратная матрица размером 5×5 (при расчете пренебрегаем напряжениями σ_{33}) [2].

Матрица $[B]$ для каждого из бетонных слоев КЭ выражается через матрицу податливости:

$$[B] = [A]^{-1}. \quad (2)$$

Армированные слои без трещин. Напряжения в железобетонном слое принимаются как сумма напряжений в бетоне и арматуре [8], откуда вытекает матрица упругости для армированных слоев без трещин:

$$[B] = [A]^{-1} + [B_s], \quad (3)$$

где

$$[B_s] = \begin{bmatrix} \frac{E_s \mu_{11}}{1 - \nu_s^2} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \frac{E_s \mu_{22}}{1 - \nu_s^2} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{E_s}{1 + \nu_s \mu_{11}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \frac{E_s}{1 + \nu_s \mu_{22}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{E_s}{1 + \nu_s \mu_{11}} + \frac{E_s}{1 + \nu_s \mu_{22}} \end{bmatrix};$$

E_s – модуль упругости арматуры, ν_s – коэффициент Пуассона; $\mu_{11} = A_{si} / S_{i11} h_s$, $\mu_{22} = A_{si} / S_{i22} h_s$ – коэффициенты армирования в направлении осей X_1 и X_2 исходной системы координат; A_{si} – площадь сечения арматурного стержня; S_{i11} , S_{i22} – шаг стержней, параллельных соответственно осям X_1 и X_2 ; h_s – суммарная толщина армированных слоев.

Неармированные слои с трещиной. Трещины будут образовываться, если выполняется условие:

$$\sigma_{11}^2 + \sigma_{22}^2 + 3 \cdot (\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{13}^2) - (\sigma_{11} \sigma_{22}) - (R_{bt} - R_b)(\sigma_{11} + \sigma_{22}) - R_{bt} R_b > 0, \quad (4)$$

где $\sigma_{11}, \sigma_{22}, \tau_{12}, \tau_{13}, \tau_{23}$ – напряжения в бетоне в момент трещинообразования, рассчитанные для центра слоя. Здесь R_{bt}, R_b – предел прочности бетона при осевом растяжении и сжатии.

При выполнении (4) в бетонном слое образуется трещина вдоль площадок, ортогональных к направлению наибольшего из главных растягивающих напряжений, рассчитываемого по формуле для плоского напряженного состояния:

$$\sigma_{lt} = [\sigma_{11} + \sigma_{22} + \sqrt{(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + 4\tau_{12}^2}] / 2.$$

Направление развития трещин задается величиной угла между нормалью к трещине и осью x_1 :

$$\chi_1 = \arctg[(\sigma_{lt} - \sigma_{11}) / \tau_{12}].$$

Отметим, что при возникновении параллельных друг другу трещин в области слоя начально-изотропный бетон приобретает свойства ортотропии, утрачивается приемлемость потенциальных определяющих соотношений, принятых для нелинейного разнсопротивляющегося изотропного материала. Соответственно, считаем справедливой приемлемость выбранных потенциальных соотношений только для направлений вдоль трещин. В указанном направлении нелинейные свойства бетона аппроксимировались секущим модулем упругости E_B и секущим коэффициентом поперечных деформаций ν_B , определяемыми из

$$e_{22}^* = A_{12}^* \sigma_{11}^* + A_{22}^* \sigma_{22}^* = (\sigma_{22}^* - \nu_B \sigma_{11}^*) / E_B,$$

т.е.

$$E_B = 1 / A_{22}^*; \nu_B = -A_{12}^* / A_{22}^*,$$

где A_{12}^* , A_{22}^* – компоненты матрицы податливости, рассчитываемые по формулам для неармированных слоев [2,8]; σ_{ij}^* – напряжения в бетоне, рассчитанные в системе координат $X_1^*OX_2^*$, повернутой относительно исходной системы X_1OX_2 на угол χ_1 .

Зависимости между деформациями и напряжениями в повернутой системе координат примем в виде:

$$\{e^*\} = [A^*]\{\sigma_B^*\},$$

где

$$\{e^*\} = \begin{Bmatrix} e_{11}^* \\ e_{22}^* \\ \gamma_{12}^* \\ \gamma_{13}^* \\ \gamma_{23}^* \end{Bmatrix}; [A^*] = \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{12}^* & 0 & 0 & 0 \\ & A_{22}^* & 0 & 0 & 0 \\ & & A_{66}^* & 0 & 0 \\ Sim & & & A_{44}^* & 0 \\ & & & & A_{55}^* \end{bmatrix}; \{\sigma_B^*\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{B11}^* \\ \sigma_{B22}^* \\ \tau_{B12}^* \\ \tau_{B13}^* \\ \tau_{B23}^* \end{Bmatrix};$$

или для случая с образованием трещины в направлении оси X_1^* :

$$[B^*] = [A^*]^{-1} = \begin{bmatrix} B_{11}^* & B_{12}^* & 0 & 0 & 0 \\ & B_{22}^* & 0 & 0 & 0 \\ & & B_{66}^* & 0 & 0 \\ Sim & & & B_{44}^* & 0 \\ & & & & B_{55}^* \end{bmatrix};$$

где – $B_{11}^* = 0$; $B_{12}^* = 0$; $B_{22}^* = E_B$; $B_{44}^* = B_{66}^* = 0$; $B_{55}^* = E_B / [2(1+\nu)]$.

Тогда, выполнив преобразование координат из системы $X_1^*OX_2^*$ в исходную, получим матрицу жесткости для треснувшего бетона $[B^c]$:

$$[A^c]^{-1} = [B^c] = \begin{bmatrix} B_{11}^c & B_{12}^c & B_{16}^c & 0 & 0 \\ & B_{22}^c & B_{26}^c & 0 & 0 \\ & & B_{66}^c & 0 & 0 \\ sim & & & B_{44}^c & 0 \\ & & & & B_{55}^c \end{bmatrix}.$$

где

$$B_{11}^c = B_{22}^* \sin^4 \chi_1; B_{22}^c = B_{22}^* \cos^4 \chi_1; B_{12}^c = B_{22}^* \sin^2 \chi_1 \cos^2 \chi_1;$$

$$B_{16}^c = B_{22}^* \cos \chi_1 \sin^3 \chi_1; B_{26}^c = B_{22}^* \cos^3 \chi_1 \sin \chi_1;$$

$$B_{66}^c = 4B_{22}^* \sin^2 \chi_1 \cos^2 \chi_1; B_{44}^c = B_{55}^* \sin^2 \chi_1; B_{55}^c = B_{55}^* \cos^2 \chi_1.$$

Армированные слои с трещиной. Появление трещин определяется из условия Баландина в пределах фиктивного слоя КЭ:

$$\sigma_{B11}^2 + \sigma_{B22}^2 + 3 \cdot (\tau_{12}^2 + \tau_{23}^2 + \tau_{13}^2) - (\sigma_{B11} \sigma_{B22}) - (R_{bt} - R_b)(\sigma_{B11} + \sigma_{B22}) - R_{bt} R_b > 0, \quad (5)$$

где σ_{Bij} – напряжения в бетоне армированного слоя. Направление развития трещин определяется аналогично случаю с неармированными слоями. Учитывая рассуждения, приведенные выше, получим:

$$e_{22}^* = A_{12}^* \sigma_{B11}^* + A_{22}^* \sigma_{B22}^* = (\sigma_{B22}^* - \nu_B \sigma_{B11}^*) / E_B, \quad (6)$$

т. е. $E_B = 1 / A_{22}^*$; $\nu_B = -A_{12}^* / A_{22}^*$, где A_{12}^* , A_{22}^* – компоненты матрицы податливости, рассчитываемые по формулам [2], в которых σ_{11} и σ_{22} необходимо заменить напряжениями, рассчитанными в ортогональной системе координат $X_1^* O X_2^*$, повернутой относительно исходной $X_1 O X_2$ на угол χ_1 ; σ_{B11}^* , σ_{B22}^* – напряжения в бетоне в этой системе координат.

Зависимости в повернутой системе координат примут вид:

$$\{e^*\} = [A^*] \{\sigma_B^*\}, \quad (7)$$

где

$$\{e^*\} = \begin{Bmatrix} e_{11}^* \\ e_{22}^* \\ \gamma_{12}^* \\ \gamma_{13}^* \\ \gamma_{23}^* \end{Bmatrix}; [A^*] = \begin{bmatrix} A_{11}^* & A_{12}^* & 0 & 0 & 0 \\ & A_{22}^* & 0 & 0 & 0 \\ & & A_{66}^* & 0 & 0 \\ & Sim & & A_{44}^* & 0 \\ & & & & A_{55}^* \end{bmatrix}; \{\sigma_B^*\} = \begin{Bmatrix} \sigma_{B11}^* \\ \sigma_{B22}^* \\ \tau_{B12}^* \\ \tau_{B13}^* \\ \tau_{B23}^* \end{Bmatrix};$$

$$A_{11}^* = 1 / (E_B \omega); A_{12}^* = -\nu_B / E_B; A_{22}^* = 1 / E_B; A_{44}^* = A_{66}^* = 2(1 + \nu_B) / (E_B \omega); A_{55}^* = 2(1 + \nu) / E_B,$$

где в направлении оси X_1^* секущий модуль упругости бетона определяется величиной $E_B \omega$ (ω – функция, которая учитывается степень повреждения $0 < \omega \leq 1$). Тогда в исходной системе координат матрица податливости для треснувшего бетона $[A^c]$:

$$[A^c] = \begin{bmatrix} A_{11}^c & A_{12}^c & A_{16}^c & 0 & 0 \\ & A_{22}^c & A_{26}^c & 0 & 0 \\ & & A_{66}^c & 0 & 0 \\ & sim & & A_{44}^c & 0 \\ & & & & A_{55}^c \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Матрица упругости для арматуры треснувшего слоя в исходной ортогональной системе координат $X_1 O X_2$ имеет вид, аналогичный используемому в формуле (3), с учетом направления армирования и пластического деформирования арматуры [2,8].

Матрицу упругости армированного слоя представим в виде

$$[B] = [B_B^c] + [B_s^c], \quad (9)$$

где $[B_B^c] = [A^c]^{-1}$.

Для уточнения модели треснувшего армированного слоя задается функция поврежденности ω , определяемая с помощью параметра В.И.Мурашева ψ_s , который учитывает работу растянутого бетона на участках между трещинами:

$$\psi_s = E_{sn} / (E_B \omega + E_{sn}), \quad (10)$$

где E_{sn} – модуль упругости арматуры в направлении вдоль нормали к трещине:

$$E_{sn} = E_{s11} \mu_{11} \cos^4 \chi_1 + E_{s22} \mu_{22} \sin^4 \chi_1. \quad (11)$$

Решая совместно уравнения (11) и (12) относительно функции поврежденности и учитывая рекомендации Гениева Г.А., Киссюк В.Н. и Тюпина Г.А. [15], с учетом правил преобразования координат для напряжений σ_{Bij} получим нелинейное уравнение относительно ω [8]:

$$\begin{aligned} & (B_{B11}^C e_{11} + B_{B12}^C e_{22} + B_{B16}^C \gamma_{12}) \cos^2 \chi_1 + (B_{B12}^C e_{12} + B_{B22}^C e_{22} + B_{B26}^C \gamma_{12}) \sin^2 \chi_1 + \\ & + (B_{B16}^C e_{11} + B_{B26}^C e_{26} + B_{B66}^C \gamma_{12}) \sin 2\chi_1 = 0,7 R_{bt}. \end{aligned} \quad (12)$$

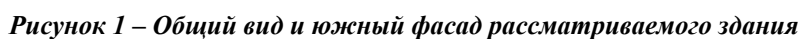
Армированные слои с пересекающимися трещинами. С учетом принятой модели армированного слоя с трещинами и введенных ранее гипотез матрицу упругости в пределах фиктивного слоя получим в виде:

$$[B] = [B_s^C], \quad (13)$$

где матрица $[B_s^C]$ определяется согласно (3).

Результаты исследования

Для демонстрации особенностей разработанной авторами модели была решена задача об определении напряженно-деформированного состояния здания. Здание содержит 7 этажей имеющих одинаковую планировку, высота этажей и внешний вид здания показаны на рис. 1. Размеры здания в плане 18,55х13,26 м, расчетная модель здания состояла только из горизонтальных и вертикальных несущих элементов монолитного остова; толщина всех междуэтажных перекрытий принята 250 мм, толщина всех пилонов по высоте здания равнялась 350 мм, влияние физико-механических свойств основания не учитывалось, деформирование несущего остова происходило вплоть до начала процессов разрушения при малых перемещениях. В качестве основного материала здания использовался бетон с пределом прочности на сжатие $R^- = 28,4$ МПа [1, 3]. Армирование плит перекрытия принято стержнями А400 диаметром 14 мм в виде сетки расположенной симметрично в сечении плиты (защитный слой 35 мм, предел текучести $\sigma_p = 400$ МПа), армирование пилонов принято стержнями А400 диаметром 12 мм в виде двух сеток симметрично расположенных в сечении пилон (защитный слой 30 мм, предел текучести $\sigma_p = 400$ МПа). Величины ветрой нагрузки и нагрузки на перекрытия показаны на рис. 2. На рис. 3 приведены результаты расчета вертикальных прогибов w в перекрытиях здания показанных на рис. 1, в точках, где наблюдаются максимальные прогибы, дано сравнение с аналогичными расчетами, выполненными в STARK ES, ANSYS и LIRA-SAPR.



The diagram shows a three-story frame structure with three vertical columns and two horizontal beams per floor. The base of the columns is labeled "Жесткое защемление" (Rigid fixation). A horizontal distributed load q^{nr} is applied to the top beam. Vertical distributed loads q^n are applied to each of the two intermediate beams. On the right side, horizontal distributed loads q^w are applied to each of the three beams. The columns are shaded gray, and the beams are white.

28

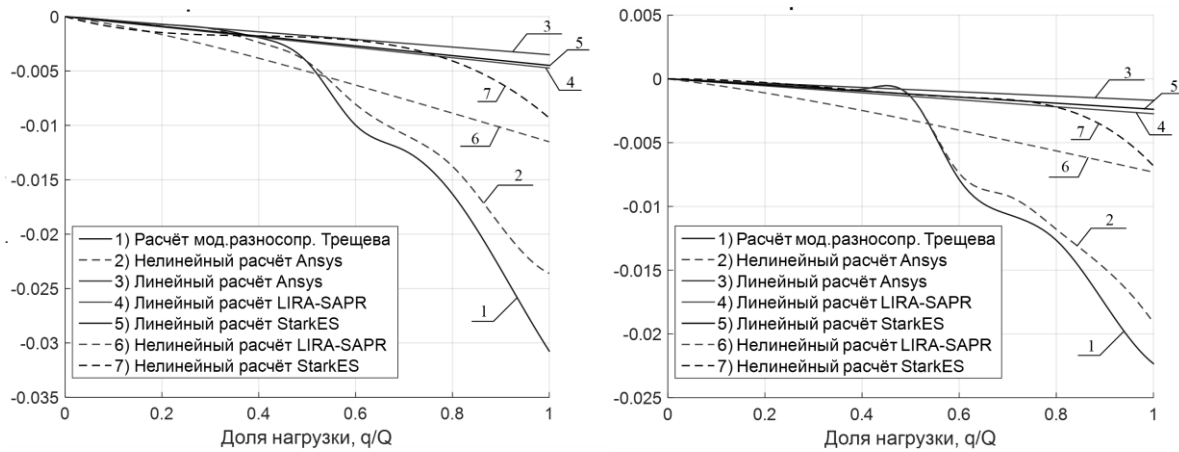


Рисунок 3 – Максимальные вертикальные перемещения в плите, лежащей в плоскостях 1 (слева) и 2 (справа), м

Выводы

1. Модель разносопротивляемости, в принятая в соответствии с теорией А.А.Трещева показала хорошие результаты в части определения перемещений, полученные результаты отличается от аналогичных, полученных в результате нелинейного расчета в программе ANSYS и др., в точке экстремума всего лишь на 18%.
2. Различия по напряжениям по экстремальным значениям, с другими пакетами прикладных программ обусловлено использованием упрощенных математических моделей, а также отсутствием закритического анализа.
3. Проведенное исследование напряженно-деформированного состояния здания позволяет объективно утверждать, что разработанная данная модель обладает рядом преимуществ перед существующими, реализованными в популярных САПР. Модель позволяет учесть разносопротивляемость материала, образование трещин, пластические деформации в арматуре, построенный конечный элемент получен в форме удобной для его программной реализации, что и было продемонстрировано в данной работе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения. М.; Тула: РААСН; ТулГУ. 2008. 264 с.
2. Теличко В.Г., Трещев А.А. Гибридный конечный элемент для расчета плит и оболочек с усложненными свойствами // Известия вузов. Строительство. 2003. № 5. С. 17-23.
3. Трещев А.А. Теория деформирования и прочности материалов с изначальной и наведенной чувствительностью к виду напряженного состояния. Определяющие соотношения. М.; Тула: РААСН; ТулГУ. 2016. 326 с.
4. Амбарцумян С.А. Разномодульная теория упругости. М.: Наука. 1982. 320 с.
5. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression // AIAA Journal. 1977. Vol. 15. №1. Pp. 16-25.
6. Трещев А.А., Бобрышев А.А. Теория деформирования и прочности материалов, чувствительных к виду напряженного состояния. Упругопластические деформации. М.; Тула: РААСН; ТулГУ. 2017. 140 с.
7. Карпенко, Н.И. Теория деформирования железобетона с трещинами. М.: Стройиздат. 1976. 208 с.
8. Артемов А.Н., А.А. Трещев. Поперечный изгиб железобетонных плит с учетом трещин // Известия вузов. Строительство. 1994. №9-10. С. 7-12.
9. Jendele L, Červenka J. On the solution of multi-point constraints – application to FE analysis of reinforced concrete structures // Computers & Structures. 2009. Vol. 87. Pp. 970-980.
10. Bathe K.J., Walczak J., Welch A., Mistry N. Nonlinear analysis of concrete structures // Computers & Structures. 1989. Vol. 32. Pp. 563-590.

11. Bathe K. J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 1037 p.
12. Cook R.D. Two hybrid elements for analysis of thick thin and sandwich plates // Int. J. num. Meth. Engng. 1972. Vol. 5. Pp. 277-288.
13. Tong P. A., T.H.H. Pian Variation principle and the convergence of a finite-element method based on assumed stress distribution // Int. J. Solids Struct. 1969. Pp. 463-472.
14. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals 7th Edition. Butterworth-Heinemann. 2013. 756 p.
15. Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Г.А. Тюпин. Теория пластичности бетона и железобетона. М.: Стройиздат. 1974. 316 с.
16. Карпенко С.Н., Палювина С.Н., Петров А.Н., Карпенко Н.И. Модель деформирования железобетона в приращениях и расчет железобетонных балок-стенок и изгибаемых плит с трещинами. Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 2013. 153 с.

Теличко Виктор Григорьевич

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия,
канд. техн. наук, доцент кафедры строительства, строительных материалов и конструкций,
E-mail: katanv@yandex.com

Золотов Никита Владимирович

ФГБОУ ВО «Тульский государственный университет», г. Тула, Россия,
аспирант кафедры строительства, строительных материалов и конструкций,
E-mail: nikita.v.zolotov@gmail.com

TELICHKO V.G., ZOLOTOV N.V.

**THE STRENGTH OF HIGH-RISE BUILDINGS FROM
MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE TAKING INTO ACCOUNT
DIFFERENT RESISTANCE AND DAMAGE OF MATERIAL**

The derivation of a finite element model to determine the stress-strain state of a multi-storey building made of monolithic reinforced concrete is considered. This takes into account the dependence of the mechanical characteristics of concrete on the type of stress state, the development of plastic deformation in the reinforcement, cracking. The equations of state for the nonlinear isotropic materials proposed in the framework of the theory of A.A. Treschev, based on the parameters of the normalized stress spaces, accepted as defining relations. The characteristics of the material are determined from experiments on uniaxial tension and compression under simple loading conditions. Especially for the solution of this problem, a modification of the triangular hybrid finite element was developed for a plate of medium thickness of an arbitrary shape with five degrees of freedom in the node. The necessary equations of the finite element method for solving the problem of calculating the stress-strain state of the building taking into account the cracking, the different resistance of concrete and plastic deformations in the reinforcement obtained. The description of the methods of modeling the fictitious layers of the element corresponding to different variants of the stress-strain state of reinforced concrete: concrete layers without cracks, concrete layers with cracks, concrete layers without cracks and reinforced concrete layers with cracks in one and two directions. The results of solving the problem in form of graphs of the distribution of individual displacements in the slabs of the building. Confirmed, that taking into account the complicated properties of the material are necessary to obtain correct estimates of the stress-strain state of reinforced concrete structures under conditions of progressive cracking.

Keywords: finite element method reinforced concrete, monolithic reinforced concrete, multi-storey building, multimodulus behavior, cracking, hybrid finite element.

REFERENCES

1. Treschev A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti materialov, chuvstvitel'nyh k vidu na-pryazhennogo sostoyaniya. Opredelyayushchie sootnosheniya [Theory of deformation and strength of materials sensitive to the type of stress state. Determining relations]. Moscow; Tula: RAACS; TulGU. 2008. 264 p. (rus)
2. Telichko V.G., Treschev A.A. Gibridnyj konechnyj ehlement dlya rascheta plit i obolochek s uslozhnennymi svojstvami [Hybrid finite element for the calculation of plates and shells with complicated properties]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2003. No 5. Pp. 17-23. (rus)
3. Treschev A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti materialov s iznachal'noj i navedennoj chuvstvitel'nost'yu k vidu napryazhennogo sostoyaniya. Opredelyayushchie sootnosheniya [The theory of deformation and strength of materials with the initial and induced sensitivity to the type of stress state. Determining relations]. Moscow; Tula: RAACS; TulGU. 2016. 326 p. (rus)
4. Ambarcumyan S.A. Raznomodul'naya teoriya uprugosti [Multimodule theory of elasticity]. Moscow: Nauka. 1982. 320 p. (rus).
5. Jones R.M. Stress-Strain Relations for Materials with Different Moduli in Tension and Compression. *AI-AA Journal*. 1977. Vol. 15. No 1. Pp. 16-25.
6. Treschev A.A., Bobryshev A.A. Teoriya deformirovaniya i prochnosti materialov, chuvstvitel'nyh k vidu napryazhennogo sostoyaniya. Uprugoplasticheskie deformacii [Theory of deformation and strength of materials sensitive to the type of stress state. Elastoplastic deformations]. Moscow; Tula: RAACS; TulGU. 2017. 140 s. (rus).
7. Karpenko N.I. Teoriya deformirovaniya zhelezobetona s treschinami [The theory of deformation of reinforced concrete with cracks]. Moscow: Strojizdat. 1976. 208 p. (rus).
8. Artemov A.N., Treschev A.A. Poperechnyj izgib zhelezobetonnyh plit s uchetom treschin [Transverse bending of reinforced concrete slabs with consideration of cracks]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 1994. No 9-10. Pp. 7-12. (rus)
9. Jendele L, Červenka J. On the solution of multi-point constraints – application to FE analysis of reinforced concrete structures. *Computers & Structures*. 2009. Vol. 87. Pp. 970-980.
10. Bathe K.J., Walczak J., Welch A., Mistry N. Nonlinear analysis of concrete structures. *Computers & Structures*. 1989. Vol. 32. Pp. 563-590.
11. Bathe K. J. Finite Element Procedures. New Jersey: Prentice Hall, 1996. 1037 p.
12. Cook R.D. Two hybrid elements for analysis of thick thin and sandwich plates. *Int. J. num. Meth. Engng*. 1972. Vol. 5. Pp. 277-288.
13. Tong P. A., Pian T.H.H. Variation principle and the convergence of a finite-element method based on assumed stress distribution. *Int. J. Solids Struct*. 1969. Pp. 463-472.
14. Zienkiewicz O.C., Taylor R.L., Zhu J.Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals 7th Edition. Butterworth-Heinemann. 2013. 756 p.
15. Geniev G.A., Kissyuk V.N., Tyupin G.A. Teoriya plastichnosti betona i zhelezobetona [The theory of plasticity of concrete and reinforced concrete]. Moscow: Strojizdat. 1974. 316 p. (rus)
16. Karpenko S.N., Palyuvina S.N., Petrov A.N., Karpenko N.I. Model' deformirovaniya zhelezobetona v prirashcheniyakh i raschet zhelezobetonnykh balok-stenok i izgibayemykh plit s treschinami [Model of deformation of jelly-zobeton in increments and calculation of reinforced concrete beams-walls and bent plates with cracks]. Petrozavodsk: Petrozavodsk State Univ. 2013. 153 p. (rus).

Telichko Victor G.

Tula State University, Tula, Russia,
candidate in tech. sc., associated prof. of the dep. construction, building materials and structures
E-mail: katranv@yandex.ru

Zolotov Nikita V.

Tula State University, Tula, Russia,
postgraduate of the dep. of civil and industrial engineering
E-mail: nikita.v.zolotov@gmail.com

ТРАВУШ В. И., КАРПЕНКО Н. И., КОЛЧУНОВ Вл. И.,
КАПРИЕЛОВ С. С., ДЕМЬЯНОВ А. И., КОНОРЕВ А. В.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ КОНСТРУКЦИЙ КВАДРАТНОГО И КОРОБЧАТОГО СЕЧЕНИЙ ИЗ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА ПРИ КРУЧЕНИИ С ИЗГИБОМ

В результате проведенных экспериментальных исследований построены графики прогибов и углов поворота, зависимостей деформаций бетона по отношению к расчетному сечению 1-1. Определены главные деформации удлинения и укорочения бетона; арматура была подобрана таким образом, что в стадии, предшествующей разрушению, она достигала текучести, поэтому напряжения в арматуре известны.

Установлено, что для железобетонных конструкций квадратного сечения из высокопрочного бетона класса В100 при кручении с изгибом, как правило, имеет место лишь одна магистральная трещина (хрупкая структура высокопрочного бетона способствует такой концентрации), по которой и происходит разрушение. Для коробчатого сечения имело место несколько трещин, из которых выделяется та, по которой происходит разрушение. На ступенях, предшествующих разрушению, эта трещина начинает превалировать над остальными и имеет максимальную ширину раскрытия.

На основании экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона квадратного и коробчатого сечений, получены достоверные данные о сложном напряженно-деформированном состоянии в исследуемых областях сопротивления, такие как: значения обобщенной нагрузки трещинообразования $R_{sup,crc}$ и разрушения $R_{sup,w}$, ее уровень относительно предельной нагрузки; расстояние между трещинами на разных уровнях трещинообразования (до момента разрушения, как правило, образуется два – три уровня); ширина раскрытия трещин на уровне оси рабочей арматуры, на удалении двух диаметров от осей арматуры и вдоль всего профиля трещины на различных ступенях нагружения, из которых следует, что раскрытие трещин на уровне оси арматуры в 2 – 3 раза меньше, по сравнению с раскрытием трещин на удалении 1.5 – 2 диаметров от оси рабочей (продольной и поперечной) арматуры; координаты точек (x; y; z) образования пространственных трещин; схемы зарисовки на планшетах образования, развития и раскрытия трещин железобетонных конструкций при кручении с изгибом.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования и полученный результат, предоставляют возможность проверки разрабатываемой расчетной модели и ее рабочих гипотез оценки сопротивления железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при кручении с изгибом.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, высокопрочный бетон, кручение с изгибом, результаты эксперимента, раскрытие трещин.

Введение

Решение основных задач капитального строительства связано с дальнейшим развитием технического прогресса в области бетона и железобетона, как наиболее распространенных материалов несущих конструкций современного строительства.

Разнообразие и уникальность архитектурных форм, как правило, вызывает сложное сопротивление железобетонных конструкций – кручение с изгибом и требует создания бетонов все более высоких классов, что влечет за собой необходимость экспериментально-теоретических исследований [1-12].

Сопротивление железобетонных конструкций кручению с изгибом в настоящее время изучено недостаточно глубоко и практически не изучено для высокопрочных бетонов. Об этом свидетельствует и тот факт, что в СП 63.13330.2012 [13] отсутствуют какие-либо рекомендации по проектированию конструкций при кручении с изгибом, а приведены только общие положения их расчета, которые не всегда согласуются с реальной работой железобетона в стадии образования, развития трещин, а также в предельной стадии их сопротивления.

Результаты исследований и их анализ

С целью выявления закономерностей сопротивления железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при кручении с изгибом и проверки разрабатываемой расчетной модели, ее рабочих гипотез и предпосылок были выполнены экспериментальные исследования в соответствии с разработанной методикой.

Объектами испытаний являлись железобетонные конструкции ядер жесткости зданий, моделируемых балками длиной $l = 1200$ мм сплошного квадратного и полого коробчатого сечений с размерами $b = 200$ мм и $h = 200$ мм (рисунок 1). Кубиковая прочность бетона (R) к моменту испытаний (в возрасте 60 суток) составляла 109.5 МПа, что с учётом коэффициента вариации 8% соответствует классу В100.

Картины образования, развития и раскрытия трещин при проведении испытаний железобетонных конструкций из высокопрочного бетона квадратного и коробчатого поперечных сечений при кручении с изгибом приведены на рис. 1, 2.

Развертки трещин по всем четырем граням для квадратных и коробчатых сечений приведены на рис. 2, 3.



Рисунок 1 – Картина образования и развития трещин при проведении испытаний железобетонных конструкций из высокопрочного бетона на кручение с изгибом: сторона А: а – III-BB-KOP-720 (1); б – III-BB-KOP-410 (2)

Для квадратных сечений, как правило, имеет место лишь одна магистральная трещина, по которой и происходит разрушение (рис. 1).

Характерной особенностью железобетонных конструкций коробчатого сечения является то, что происходит образование несколько трещин, из которых выделяется та, которая впоследствии и является разрушающей. Эта трещина на ступенях близких к разрушению начинает превалировать над остальными и имеет максимальную ширину раскрытия (рис. 1).

В процессе проведения экспериментальных исследований для каждой экспериментальной конструкции вся информация заносилась в журнал испытаний. Их результаты приведены в табл. 1.

На рисунке 4 представлены графики деформаций (прогибов и углов поворота).

Графики деформаций, полученные в результате обработки показаний электротензометрических розеток, приведены на рис. 6 и 7.

По полученным экспериментальным данным электротензометрических розеток были построены графики зависимостей «нагрузка – относительная деформация». Графики таких зависимостей представлены на рис. 6 и 7 для опытных конструкций I-БВ-КВ-410 (3) и III-БВ-КОР-410 (3), соответственно.

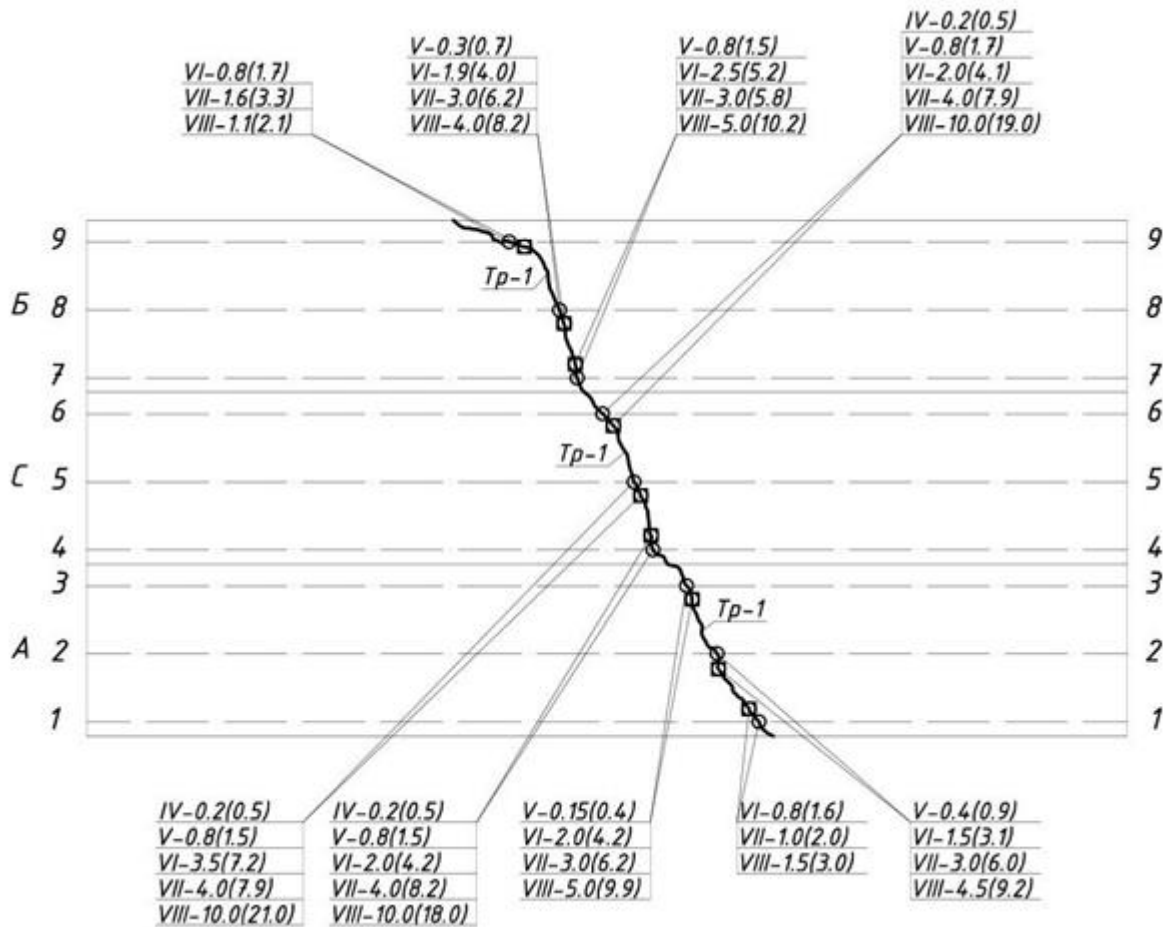


Рисунок 2 – Раскрытие трещин в экспериментальной железобетонной конструкции первой серии I-БВ-КВ-410 (2)

Без скобок приведены значения ширины раскрытия трещин, замеренные вдоль оси рабочей арматуры, в скобках – то же, на удалении двух диаметров от оси рабочей арматуры

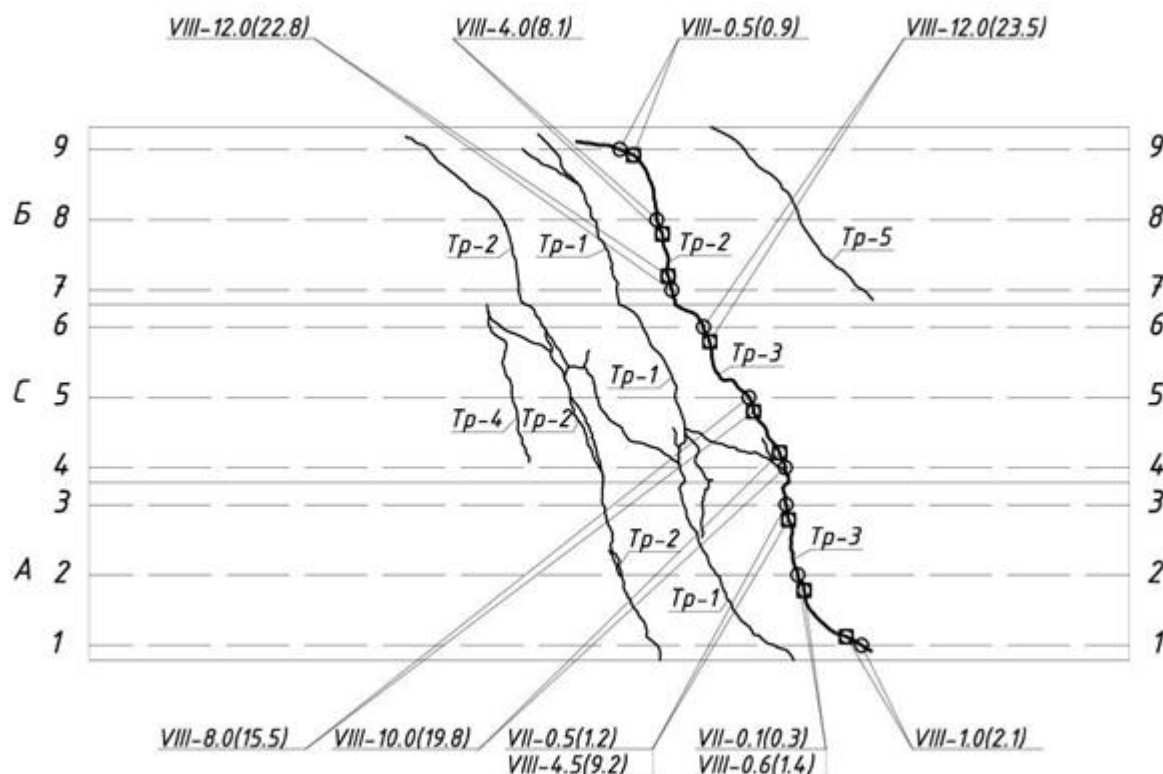


Рисунок 3 – Раскрытие трещин в экспериментальной железобетонной конструкции третьей серии III-БВ-КОР-410 (2)

Без скобок приведены значения ширины раскрытия трещин, замеренные вдоль оси рабочей арматуры, в скобках – то же, на удалении двух диаметров от оси рабочей арматуры

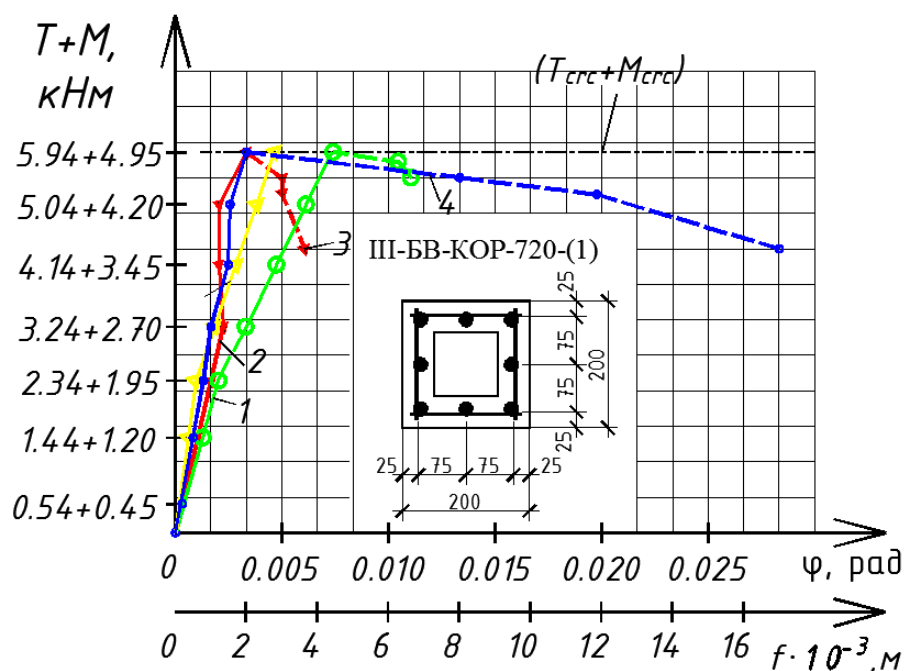


Рисунок 4 – Графики углов поворота и прогибов опытной железобетонной конструкции III-БВ-КОР-720 (1)

1 – прогиб по индикатору И1; 2 – прогиб по индикатору И4; 3 – угол поворота по И1-И2; 4 – угол поворота по И3-И4

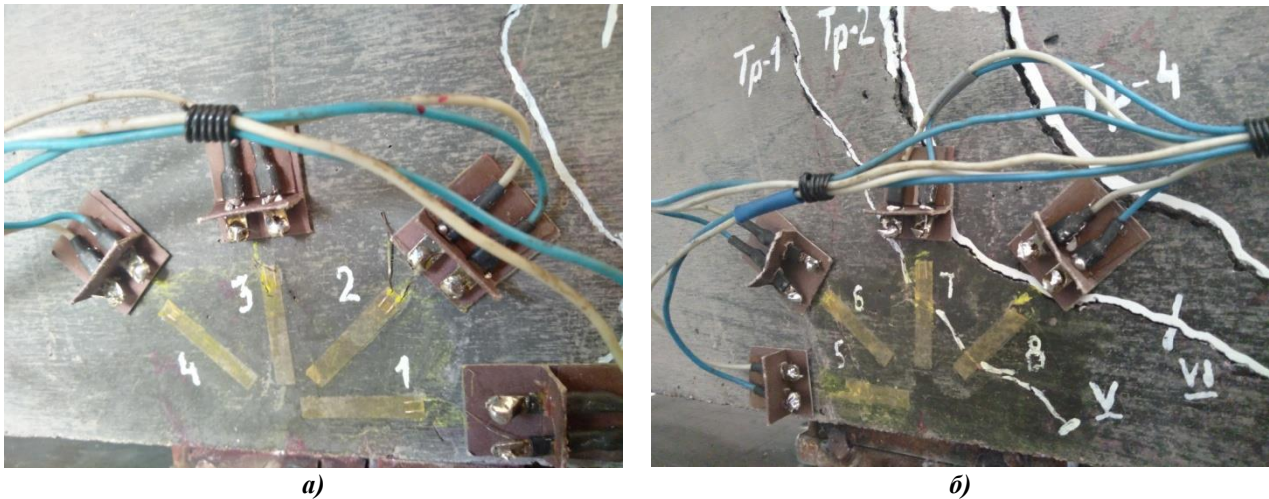


Рисунок 5 – Развитие трещин по отношению к розеткам электротензорезисторов для опытной железобетонной конструкции III-БВ-КОР-410 (3): а – сторона А; б – сторона Б

Для обработки показаний электротензорезисторов использовались формулы определения главных деформаций удлинения (укорочения) бетона.

Применительно к конструкции I-БВ-КВ-410 (3) сторона А (рис. 6) находим:

8 этап:

$$\varepsilon_1 = \frac{-124 + (-20)}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-124) - (-123))^2 + ((-123) - (-20))^2} = -0,6, \quad (1)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{-124 + (-20)}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-124) - (-123))^2 + ((-123) - (-20))^2} = -143,4, \quad (2)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2(-123) - (-124) + (-20)}{-124 - (-20)} = 0,98 (26 \text{ град}). \quad (3)$$

7 этап:

$$\varepsilon_1 = \frac{-50 + (-13)}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-50) - (-51))^2 + ((-51) - (-13))^2} = -4,6, \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{-50 + (-13)}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-50) - (-51))^2 + ((-51) - (-13))^2} = -58,4, \quad (5)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2(-51) - (-50) + (-13)}{-50 - (-13)} = 1,02 (27 \text{ град}). \quad (6)$$

Применительно к конструкции III-БВ-КОР-410 (3) сторона А (рис. 7) находим:

7 этап:

$$\varepsilon_1 = \frac{-22 + (-1,5)}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-22) - (27))^2 + ((-27) - (-1,5))^2} = 6,9, \quad (7)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{-22 + (-1,5)}{2} - \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-22) - (27))^2 + ((-27) - (-1,5))^2} = -30,5, \quad (8)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2(-27) - ((-22) + (-1,5))}{(-22) - (-1,5)} = 3,29 (58 \text{ град}). \quad (9)$$

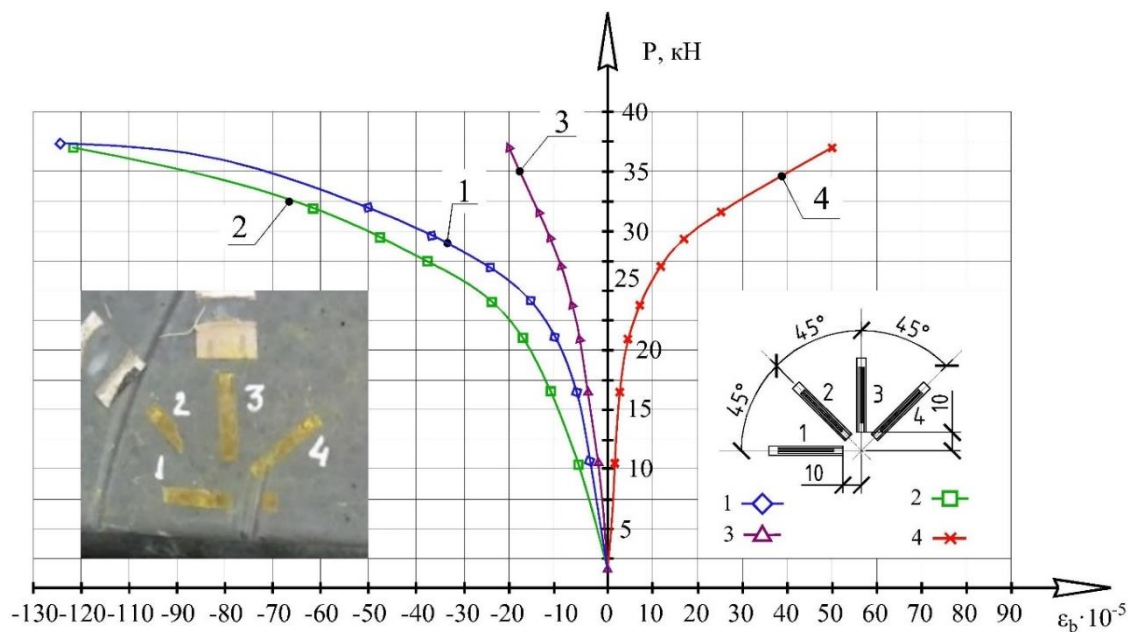


Рисунок 6 – Графики зависимостей деформаций бетона от нагрузки для железобетонной конструкции I-BB-KB-410 (3)

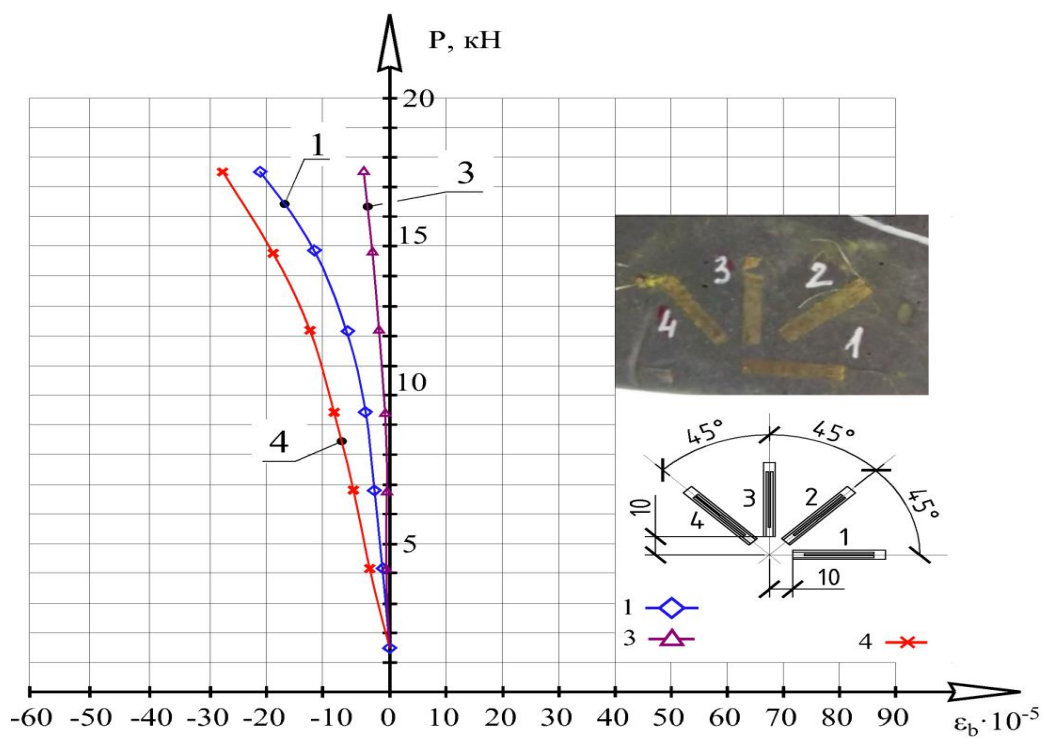


Рисунок 7 – Графики зависимостей деформаций бетона от нагрузки для железобетонной конструкции III-BB-KOP-410 (3)

6 этап:

$$\varepsilon_1 = \frac{-11 + (-1)}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-11 - (-19))^2 + ((-19) - (-1))^2)} = 19,5, \quad (10)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{-11 + (-1)}{2} + \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{((-11 - (-19))^2 + ((-19) - (-1))^2)} = -31,5, \quad (11)$$

$$\operatorname{tg} 2\varphi = \frac{2(-19) - ((-11) + (-1))}{(-11) - (-1)} = 1,5 \text{ (37град)}. \quad (12)$$

Проведение экспериментальных исследований железобетонных конструкций позволило проверить достоверность предлагаемой расчетной модели и основных положений. Полученные результаты дали возможность установить закономерности и параметры сопротивления железобетонных конструкций, такие как координаты образования пространственных трещин; обобщенная нагрузка трещинообразования $R_{sup,crc}$ и разрушения $R_{sup,u}$; ширина раскрытия трещин на уровне осей продольной и поперечной растянутой арматуры, на удалении двух диаметров от осей арматуры и вдоль всего профиля трещины; расстояние между трещинами l_{crc} и длина трещин h_{crc} на каждом этапе нагружения; фибровые главные деформации сжатого бетона при кручении с изгибом (табл. 1).

Таблица 1 – Экспериментальные параметры сопротивления железобетонных конструкций серий I и III при кручении с изгибом

Се- ри- я	Шифр конструк- ции	$R_{sup,crc}$, кН	$R_{sup,max}$, кН	P_{max} , кН	Степень нагруже- ния, P_i/P_{max}	Пространственная трещи- на, по которой произошло разрушение				Фактиче- ская вы- сота сжа- той зоны, x_{fact} , мм	Координаты образования простран- ственной тре- щины	
						$a_{crc,1}$, мм	$a_{crc,2}$, мм	$a_{crc,2}$, мм	$l_{crc,max}$, мм		x_{exp} , мм	y_{exp} , мм
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
I	БВ-КВ-410 (2) Сторона А	13.3	13.3	37.5	0.70	-	-	-	335	50	89	86
					0.62	-	0.4	0.15		50		
					1.00	0.8	1.5	2.0		26		
					0.77	1.0	3.0	3.0		12		
					0.80	1.5	4.5	5.0		-		
	БВ-КВ-410 (2) Сторона Б				0.70	-	-	-		50	20	82
					0.62	-	0.3	0.8		50		
					1.00	0.8	1.9	2.5		25		
					0.77	1.6	3.0	3.0		25		
					0.80	1.1	4.0	5.0		-		
III	БВ-КОР-720 (1) Сторона А	8.3	8.3	16.5	0.87	-	0.1	0.1	365	70	42	80
					0.93	0.4	1.3	2.5		-		
					1.00	1.2	3.0	4.5		-		
	БВ-КОР-720 (1) Сторона Б				0.87	0.1	0.1	0.1		70		
					0.93	0.3	1.4	0.6		-		
					1.00	0.4	1.7	2.5		-		
	БВ-КОР-410 (2) Сторона А	10.8	10.8	26.5	0.81	-	0.1	0.2	285	110	52	84
					0.88	-	0.2	0.5		70		
					0.96	0.1	0.5	1.5		12		
					0.92	0.1	0.7	2.0		-		
					1.00	0.3	0.8	2.5		-		
	БВ-КОР-410 (2) Сторона Б				0.81	-	0.1	0.2		90	-14	82
					0.88	-	0.3	0.5		45		
					0.96	0.1	0.8	1.6		25		
					0.92	0.8	1.9	3.5		-		
					1.00	0.8	2.0	3.5		-		

В таблице 1: $a_{crc,1}$ – ширина раскрытия трещины на уровне оси растянутой рабочей арматуры, мм; $a_{crc,2}$ – ширина раскрытия трещины на уровне середины высоты сечения в направлении оси продольной арматуры, мм; $a_{crc,3}$ – ширина раскрытия трещины на уровне оси сжатой рабочей арматуры, мм; $l_{crc,max}$ – длина проекции пространственной трещины, мм; x_{exp} – расстояние по горизонтали от опорной реакции, мм; y_{exp} – расстояние по вертикали от геометрической оси, мм.

Для III-БВ-КОР-410 (2) наблюдалось дальнейшее увеличение ширины раскрытия трещины Тр-1, ее развитие по высоте сечения. Образование новой трещины Тр-3 на грани А, выход ее на верх у грани А из трещины Тр-1. Образование новой трещины Тр-4 на грани Б. Трещина Тр-2 на грани Б перешла в трещину Тр-4. Максимальная нагрузка составила 2 300 кгс, после образования трещин Тр-3 и Тр-4 – 1 700 кгс.

Для III-БВ-КОР-720 (1) наблюдалось дальнейшее увеличение ширины раскрытия трещин Тр-1, Тр-2 и Тр-3 и их развитие по высоте сечения. Произошло развитие и раскрытие трещины Тр-1 на нижней грани. Максимальная нагрузка составила 1 100 кгс, затем после выдержки нагрузка на прессе упала до 900 кгс. Образовался пластический шарнир, текучесть арматуры. Произошло смещение блоков балки относительно друг друга на 5 мм (сработал нагельный эффект).

Для I-БВ-КВ-410 (2) наблюдалось дальнейшее увеличение ширины раскрытия трещины Тр-1, ее развитие по высоте сечения и выход на нижнюю грань. Максимальная нагрузка составила 2 600 кгс.

Были получены значения фактической высоты сжатой зоны x_{fact} и высоты сжатого бетона над наклонной трещиной x_b в сечении 1-1, проходящем через конец пространственной трещины; значения прогибов и углов поворота по отношению к расчетному сечению 1-1; величины проекций пространственных трещин на горизонтальную ось.

Таким образом, параметры, полученные в результате экспериментальных исследований, позволяют проверить разрабатываемую расчетную модель сложного сопротивления железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при действии кручения с изгибом.

Выводы

1. На основании экспериментальных исследований железобетонных конструкций из высокопрочного бетона квадратного и коробчатого сечений, получены достоверные данные о сложном напряженно-деформированном состоянии в исследуемых областях сложного сопротивления при действии изгибающего и крутящего моментов. К таким данным относятся: относительный уровень и значения обобщенной нагрузки трещинообразования $R_{sup,crc}$, значения разрушающей нагрузки $R_{sup,u}$; изменяющееся расстояние между трещинами с увеличением уровня трещинообразования; ширина раскрытия трещин на уровне оси рабочей арматуры, на удалении двух диаметров от осей арматуры и вдоль всего профиля трещины на различных ступенях нагружения, из которых следует, что раскрытие трещин на уровне оси арматуры в 2 – 3 раза меньше, по сравнению с раскрытием трещин на удалении 1.5 – 2 диаметров от оси рабочей (продольной и поперечной) арматуры; координаты точек (x ; y ; z) образования пространственных трещин; схемы зарисовки на планшетах образования и развития трещин железобетонных конструкций при кручении с изгибом.

2. К результатам экспериментальных исследований также относятся графики деформаций (прогибов и углов поворота) по отношению к расчетному сечению 1-1.

3. Построены графики зависимости деформаций бетона по показаниям розетки электротензорезисторов и по формуле розеток определены главные деформации удлинения и укорочения бетона в зоне, расположенной в окрестности расчетного сечения 1-1; арматура была подобрана таким образом, что в стадии, предшествующей разрушению, она достигала текучести, поэтому напряжения в арматуре известны. Для повышения достоверности

показания электротензорезисторов были продублированы механическими и цифровыми приборами с ценой деления 0.001 мм.

4. Существенную роль для анализа образования и развития трещин оказало ведение журнала испытаний железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при кручении с изгибом. Это существенно дополнило информацию о развитии трещин в процессе нагружения опытной конструкции.

5. Установлено, что для квадратных сечений, как правило, имеет место лишь одна магистральная трещина, по которой происходит разрушение. Такая концентрация обусловлена хрупкой структурой высокопрочного бетона:

Характерной особенностью железобетонных конструкций коробчатого сечения является то, что происходит образование несколько трещин, из которых выделяется та, которая впоследствии и является разрушающей. Эта трещина на ступенях близких к разрушению начинает превалировать над остальными и имеет максимальную ширину раскрытия.

Таким образом, выполненные экспериментальные исследования и полученный результат, предоставляют возможность проверки разрабатываемой расчетной модели оценки сопротивления железобетонных конструкций из высокопрочного бетона при действии кручения с изгибом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко В. М., Колчунов В. И. Расчетные модели силового сопротивления железобетона: монография. М.: Изд-во АСВ, 2004. 472 с.
2. Верюжский Ю.В., Колчунов В.И. Методы механики железобетона. К.: Книжное изд-во НАУ, 2005. 653 с.
3. Гольшев А.Б., Колчунов В.И. Сопротивление железобетона: монография. К.: Основа, 2009. 432 с.
4. Гольшев А. Б., Колчунов В.И., Яковенко И.А. Сопротивление железобетонных конструкций, зданий и сооружений, возводимых в сложных инженерно-геологических условиях: монография. К.: «Талком», 2015. 371 с.
5. Гениев Г. А., Колчунов В. И., Ключева Н. В., Никулин А.И., Пятикрестовский К.П. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях: монография. М.: АСВ, 2004. 216 с.
6. Карпенко Н. И. Общие модели механики железобетона. М.: Стройздат. 1996. 416 с.
7. Травуш В.И., Конин Д.В., Крылов А.С., Каприелов С.С., Чилин И.А. Экспериментальные исследования сталежелезобетонных конструкций, работающих на изгиб // Строительство и реконструкция. 2017. №4(72). С. 63-72.
8. Каприелов С. С., Шейнфельд А. В., Дондуков В. Г. Цементы и добавки для производства высокопрочных бетонов // Строительные материалы. 2017. № 11. С. 4-10.
9. Демьянов А.И., Колчунов В.И., Сальников А.С., Михайлов М. М. Расчетные модели статико-динамического деформирования железобетонной конструкции при кручении с изгибом в момент образования пространственной трещины // Строительство и реконструкция. 2017. №3 (71). С. 13–22.
10. Salnikov A., Kolchunov V.I., Yakovenko I. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending // Applied Mechanics and Materials. Vols. 725–726 (2015), pp 784–789.
11. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 3. Pp. 366–375.
12. Колчунов В. И., Сальников А.С. Экспериментальные исследования трещинообразования железобетонных конструкций при кручении с изгибом // Строительство и реконструкция. 2016. № 3(65). С. 24–32.
13. СП 63.13330.2012 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. [Введены в действие с 2013-01-01]. М.: Министерство регионального развития РФ, 2012. 156 с. (Свод правил. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003).

Травуш Владимир Ильич

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва, Россия,
Д-р техн. наук, проф.,
E-mail: travush@mail.ru

Карпенко Николай Иванович

ФГБУ «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук», г. Москва, Россия,
Д-р техн. наук, проф., зав. лабораторией,
E-mail: niisf_lab9@mail.ru.

Колчунов Владимир Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
Д-р техн. наук, проф., профессор кафедры уникальных зданий и сооружений,
E-mail: vlik52@mail.ru

Каприелов Семен Суренович

Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт бетона и железобетона (НИИЖБ) им. А.А. Гвоздева, г. Москва, Россия,
Член-корр. РААСН, д-р техн. наук, зав. лабораторией,
E-mail: kaprielov@mail.ru

Демьянов Алексей Иванович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
канд. техн. наук, доц., доцент кафедры промышленного и гражданского строительства,
E-mail: speccompany@gmail.ru

Конорев Алексей Владимирович

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
аспирант кафедры уникальных зданий и сооружений,
E-mail: alexeykonorev@mail.ru

TRAVUSH V. I., KARPENKO N. I., KOLCHUNOV VI. I.,
KAPRIELOV S. S., DEM'YANOV A.I., KONOREV A. V.

THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF STRUCTURES SQUARE AND BOX SECTIONS IN TORSION WITH BENDING

In result of experimental research the plots of the deflections and rotation angles, the dependency of deformations of concrete according to the testimony of the outlets of electrodesorption with respect to the calculated cross sections 1-1. The main deformations of elongation and shortening of concrete were determined; the reinforcement was selected in such a way that in the stage preceding the destruction, it reached fluidity, so the stresses in the reinforcement are known.

It is established that for reinforced concrete structures made of high-strength concrete of square cross-section during torsion with bending, as a rule, there is only one main crack (the fragile-structure of high-strength concrete contributes to such a concentration), along which the destruction occurs. For the box section there were several cracks, of which stands out the one on which the destruction occurs. On the steps preceding the destruction, this crack begins to prevail over the rest and has a maximum opening width.

On the basis of experimental studies of reinforced concrete structures made of high-strength concrete of square and box sections, reliable data on the complex stress-strain state in the studied areas of resistance, such as: the values of the generalized load of cracking $R_{sup,crc}$ and destruction $R_{sup,u}$; its level relative to the limit load; the distance between the cracks at different levels of cracking (up to the moment of destruction, as a rule, two or three levels are formed); crack's width at the level of the axis of the working rebar, at a distance of two diameters from the axes of the rebar and along the entire crack profile at various stages of loading, from which it follows that the crack opening at the level of the axis of reinforcement is 2 – 3 times less compared with the crack opening on the removal of 1.5 – 2

diameters of the working axis (longitudinal and transverse) reinforcement; the coordinates of the points (x; y; z) the spatial formation of cracks; schematic sketchers for tablets occurrence, development and opening of cracks of reinforced concrete constructions in torsion with bending.

Thus, the experimental studies and the result provide an opportunity to test the developed computational model and its working hypotheses for assessing the resistance of reinforced concrete structures made of high-strength concrete in torsion with bending.

Key words: reinforced concrete structures; high-strength concrete; torsion with bending; experimental results, cracks' opening.

REFERENCES

1. Bondarenko V. M., Kolchunov V.I. Raschetnye modeli silovogo soprotivleniya zhelezobetona [Computational model of a power resistance of reinforced concrete]. Moscow: Publ. ASV. 2004. 472 p. (rus).
2. Varyuzhskij Yu. V., Kolchunov V. I. Metody mekhaniki zhelezobetona [Methods of reinforced concrete mechanics]. Kiev: Publ. NAU. 2005. 653 p. (rus).
3. Golyshev A. B., Kolchunov V. I. Soprotivlenie zhelezobetona [Resistance of reinforced concrete]. Kiev: Osnova Publ. 2009. 432 p. (rus).
4. Golyshev A. B., Kolchunov V. I., Yakovenko I. A. Soprotivlenie zhelezobetonnykh konstruksij, zdaniy i sooruzhenij, vozvodimyykh v slozhnykh inzhenerno-geologicheskikh usloviyakh [Resistance of reinforced concrete structures, buildings and structures erected in complex engineering-geological conditions]. Kiev: «Talkom» Publ. 2015. 371 p. (rus).
5. Geniev G. A., Kolchunov V. I., Klyueva N.V. (2004). Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstruksij pri zaproektnykh vozdeystviyakh [Strength and deformability of reinforced concrete structures under beyond design impacts]. Moscow: ASV Publ. 2004. 216 p. (rus).
6. Karpenko N. I. Obshhie modeli mekhaniki zhelezobetona [General models of reinforced concrete mechanics]. Moscow : Stroiizdat Publ. 1996. 416 p. (rus).
7. Travush V. I., Konin D. V., Krylov A. S., Kaprielov S. S., Chilin I. A. Eksperimental'nye issledovaniya stalezhelezobetonnykh konstruksij, rabotayushchikh na izgib [Experimental studies of steel-reinforced concrete structures working on bending]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. Vol. 4. No. 72. Pp. 63-72. (rus).
8. Kaprielov S. S., Shejfel'd A. V., Dondukov V. G. Cementy i dobavki dlya proizvodstva vysokoprochnykh betonov [Cements and additives for the production of high-strength concrete]. *Stroitel'nye materialy*. 2017. No. 11. Pp. 4-10. (rus).
9. Dem'yanov A. I., Kolchunov V. I., Sal'nikov A. S., Mikhajlov M. M. Raschetnye modeli statiko-dinamicheskogo deformirovaniya zhelezobetonnoj konstruksii pri kruchenii s izgibom v moment obrazovaniya prostranstvennoj treshhiny [Computational model static and dynamic deformation of reinforced concrete constructions in torsion with bending at the time of formation of the spatial crack]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2017. No 3 (71). Pp. 13–22. (rus).
10. Salnikov A. S., Kolchunov V. I., Yakovenko I. A. The computational model of spatial formation of cracks in reinforced concrete constructions in torsion with bending. *Applied Mechanics and Materials*. 2015. Vol. 725–726. 784–789.
11. Iakovenko I., Kolchunov V.I. The development of fracture mechanics hypotheses applicable to the calculation of reinforced concrete structures for the second group of limit states. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. Vol. 3. Pp. 366–375.
12. Kolchunov V.I., Salnikov A. S. Eksperimental'nye issledovaniya treshhinoobrazovaniya zhelezobetonnykh konstruksij pri kruchenii s izgibom [Experimental study of the cracking of reinforced concrete constructions in torsion with bending]. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. No. 3 (65). Pp. 24–32. (rus).
13. SP 63.13330.2012 Betonnye i zhelezobetonnye konstruksii. Osnovnye polozheniya: [Russian Building Code SP 63.13330.2012 Concrete and reinforced concrete structures. Fundamentals]. Moscow: Ministry of regional development RF. 156 p. (rus).

Travush Vladimir I.

Russian Academy of architecture and construction, Moscow, Russia,
Doctor of technical sciences, professor,
E-mail: travush@mail.ru

Karpenko Nikolay I.

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and construction Sciences, Moscow, Russia,
Doctor of technical sciences, professor, head of laboratory,
E-mail: niisf_lab9@mail.ru.

Kolchunov Vladimir I.

South-West state University, Kursk, Russia,

Doctor of technical sciences, professor of the Department of unique buildings and structures,

E-mail: vlik52@mail.ru

Kaprielov Semen S.

Research, design and technological Institute of concrete and reinforced concrete, Moscow, Russia,

Doctor of technical sciences, head of laboratory,

E-mail: kaprielov@mail.ru

Dem'yanov Alexey I.

South-West state University, Kursk, Russia,

Candidate of technical sciences, docent of the Department civil and industrial engineering,

E-mail: speccompany@gmail.ru

Konorev Alexey V.

South-West state University, Kursk, Russia,

post-graduate student of the Department of unique buildings and structures,

E-mail: alexeykonorev@mail.ru

УДК 624.072.225

МИНАСЯН А. А.

НАТУРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СБОРНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ, ПОДВЕРГШИХСЯ ЦИКЛИЧЕСКОМУ ЗАМОРАЖИВАНИЮ - ОТТАИВАНИЮ

В данной работе представлены результаты исследований несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия, подвергшихся замораживанию-оттаиванию. Разработана функция повреждения железобетонных конструкций. Приводятся результаты исследований несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия, подвергшихся замораживанию-оттаиванию в течение времени (годы). Приводятся экспериментальные данные по натурным испытаниям железобетонных плит с фактическими прочностными характеристиками бетона и частично прокорродированной арматурой. Получены графики зависимости: снижение прочности бетона и рабочего сечения арматурных стержней в зависимости от времени (годы) в климатических условиях г. Москвы. Прочностные характеристики бетона в зонах сжатия и растяжения после статистической обработки на вероятностной основе аппроксимированы экспоненциальной зависимостью. На основании испытаний серии плит разной схемы, определены показатели функции повреждения бетона для данного момента времени. Полученные результаты могут быть применены для оценки прочностных и деформационных характеристик и несущей способности железобетонных плит, подвергавшихся циклическому замораживанию-оттаиванию.

Ключевые слова: коррозионное повреждение железобетонных плит, снижение прочности бетона, коррозия арматуры, трещины, несущая способность.

Введение

Многочисленные исследования показали, что при воздействии окружающей среды на конструкции из бетона и железобетона увеличивается их деформативность, снижается несущая способность, трещиностойкость, жесткость и т.д. В натуральных климатических условиях происходит деструктивное разрушение и образование трещин, а при влиянии колебаний температуры этот процесс ускоряется, вызывая коррозию арматуры. Потеря сечения арматуры, образование ржавчины, разрушение защитного слоя, снижение прочностных и изменение деформационных характеристик бетона приводит к снижению несущей способности железобетонных конструкций.

Анализ результатов существующих исследований коррозионно-поврежденных конструкций показывает, что значительная часть экспериментальных исследований выполнена в лабораторных условиях или на моделях в разной степени агрессивности среды [1-4]. Экспериментальные исследования коррозионно-поврежденных железобетонных плит в натуральных климатических условиях почти не проводились. Для точной оценки остаточного ресурса несущей способности конструкций в условиях замораживания-оттаивания, необходимо выполнить серию испытаний и теоретических исследований поврежденных железобетонных плит. Влияние натуральных условий на свойства бетона зависит от многих факторов, которые практически невозможно моделировать в ускоренных лабораторных условиях. Поэтому, общий подход к определению остаточного ресурса коррозионно-поврежденных железобетонных плит заключается в том, чтобы оценить основные возможные влияния натуральных условий на изменение несущей способности.

Проведено экспериментальное исследование прочности, деформативности и несущей способности коррозионно-поврежденных железобетонных плит перекрытия, подвергшихся циклическому замораживанию-оттаиванию в натуральных климатических условиях.

Перед экспериментальным исследованием коррозионно-поврежденных плит проведены обследования в соответствии [5], и определены фактические значения прочностных и деформационных характеристик бетона и глубины коррозии арматурных стержней.

Систематизированы категории коррозионно-поврежденных плит, подвергшихся циклическому замораживанию и оттаиванию в натуральных условиях с учетом глубины разрушения бетона, снижения прочности, ширины раскрытия трещин и глубины коррозии арматуры [6]. Выполнены натурные испытания 8-и плит, до полного разрушения, для оценки остаточного ресурса прочности и несущей способности конструкций.

Характеристики бетона. Прочность определена сверху и снизу по всей протяженности конструкций фактическими замерами, а класс бетона в соответствии прочности установлен обеспеченностью 0,95. Остальные параметры: поврежденные участки конструкций плит, толщина защитного слоя бетона, трещины и их размеры, измерены в натуральных условиях электронным микрометром.

По причинам, вызывающим образование трещин в натуральных условиях, различаются трещины: коррозионные и силовые. Коррозионные трещины образуются вследствие больших растягивающих напряжений в бетоне, развивающихся из-за накопления ржавчины на поверхности арматурного стержня, а силовые – при критических усилиях по достижении напряжения деформации в крайних растягивающихся волокнах бетона в предельном состоянии.

Кроме указанных, часто встречаются трещины, которые обычно бывают несквозными и доходят только до поверхности арматуры.

Особенно важной характеристикой трещины является стабильность величины ее раскрытия. В натуральных климатических условиях в конструкциях плит, под воздействием коррозии при циклическом замораживании и оттаивании, величина раскрытия многих трещин в бетоне колеблется. По сравнению со стабильными, такие трещины более опасны в отношении коррозии арматуры, так как в них разрушается защитный слой бетона (Рисунок 1).

Характеристики арматуры. Диаметр и класс определялся по выборочным вскрытиям конструкций плит. Коррозия арматуры замерялась специальным электронным микрометром. По результатам испытаний установлено фактическое сопротивление арматуры на растяжение. Расчетное и нормативное сопротивление установлены в соответствии [6] в зависимости от класса арматуры.

Модели и методы

Введена функция разрушения железобетонных конструкций $\delta\Psi(t)$, зависящая от повреждения бетона и коррозии арматуры.

Таким образом, функцию разрушения железобетона разделяем на повреждение бетона и коррозию арматуры, и представляем в следующем виде:

$$\delta\Psi(t) = \Psi_b[\sigma_b(t), \varepsilon_b(t), R_b(t), E_b(t)]\delta\Psi_b(t) + \Psi_s[\sigma_s(t), \varepsilon_s(t), E_s(t), S_{scr}(t)]\delta\Psi_s(t), \quad (1)$$

где Ψ_b, Ψ_s – функции повреждения бетона и арматуры (рисунок 2);

$\sigma_b(t), \varepsilon_b(t), R_b(t), E_b(t), \delta\Psi_b(t)$; – соответственно: напряжение, деформация, прочность, модуль деформаций и функция повреждения бетона.

$\sigma_s(t), \varepsilon_s(t), E_s(t), S_{scr}(t), \delta\Psi_s(t)$ – соответственно: напряжение, деформация, модуль деформации, площадь и функция повреждения арматуры.

С учетом исследования [6], разрушение железобетонных конструкций представляется в следующем виде:

$$\Psi_b + \Psi_s = 1; \quad \Psi_b = \frac{\delta\sigma_b}{[\sigma_b]}, \quad \Psi_s = \frac{\delta S_{scr}}{[S_s]}, \quad (2)$$

$$\frac{\delta\sigma_b}{[\sigma_b]} + \frac{\delta S_{scr}}{[S_s]} = 1. \quad (3)$$

В формуле (3) вместо напряжения σ_b могут быть применены критерии интенсивности напряжения, коэффициент интенсивности напряжения, а вместо S_s – объём, или другой параметр, возможно экспериментальная функция повреждения (коррозия, микротрещины, пластическое течение) арматуры. Если в формуле (3) один компонент повреждения отсутствует, то $\delta S_{scr} = 0$, $\delta\sigma_b = [\sigma_b] = R_b$, что соответствует принципу проф. А.Р. Ржаницына: по достижению напряжения мгновенной прочности, происходит разрушение элемента.

$$\text{Если } \delta S_{scr} = 0, \text{ то } \frac{\delta\sigma_b}{[\sigma_b]} = 1, \text{ если } \delta\sigma_b = 0, \text{ то } \frac{\delta S_{scr}}{[S_s]} = 1. \quad (4)$$

Зависимости $\delta\Psi_s - \delta\Psi_b$ на фазовой плоскости приведены на рис. 2.



Рисунок 1 - Фрагмент коррозионно-поврежденной плиты

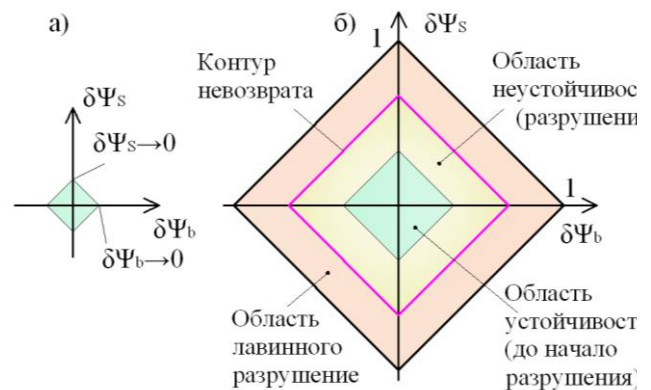


Рисунок 2 - Зависимости $\delta\Psi_s - \delta\Psi_b$:
а) начало стадии повреждения;
б) стадии разрушения

Для коррозионно-поврежденного бетона целесообразно вместо напряжения представить его прочностные характеристики:

$$\frac{\delta R_b}{[R_b]} + \frac{\delta S_{scr}}{[S_s]} = 1, \quad (5)$$

где δR_b – снижение прочности бетона при коррозионном повреждении в зоне растяжения или сжатия, R_b – проектная (начальная) прочность бетона в зоне растяжения или сжатия.

Результаты исследования и их анализ

Прочность коррозионно-поврежденного бетона. Для выполнения теоретических расчетов к сопоставительному анализу с экспериментальными данными, прочность бетона плит, подвергшихся замораживанию-оттаиванию в течение t лет, определены ежегодно методом разрушающего и неразрушающего контроля.

С наблюдением за техническим состоянием 72 железобетонных плит в течение 10 лет в условиях г. Москвы, прочностные и деформационные характеристики и критерии, характеризующие повреждения бетона в зонах сжатия и растяжения после статистической обработки на вероятностной основе обеспеченностью 0,95 аппроксимировались по следующим формулам:

В зоне сжатия:

$$R_b(t) = \gamma_{R_{сж}} R_b; \quad (6)$$

$$\gamma_{R_{сж}} = 1 - \alpha_{R_{сж}} \cdot \omega_{сж} \cdot k_{сж}, \quad \alpha_{R_{сж}} = e^{\lambda_{R_{сж}}(t-T_0)} - 1; \quad (7)$$

$$\delta R_b(t) = R_b - R_b(t). \quad (8)$$

В зоне растяжения:

$$R_{bt}(t) = \gamma_{R_{рас}} R_{bt}; \quad (9)$$

$$\gamma_{R_{рас}} = 1 - \alpha_{R_{рас}} \cdot \omega_{рас} \cdot k_{рас}, \quad \alpha_{R_{рас}} = e^{\lambda_{R_{рас}}(t-T_0)} - 1; \quad (10)$$

$$\delta R_{bt}(t) = R_{bt} - R_{bt}(t), \quad (11)$$

где $\delta R_b(t)$ и $\delta R_{bt}(t)$ – изменение прочности бетона соответственно в зоне сжатия и растяжения в течение времени t ; R_b и R_{bt} – первоначальная прочность бетона соответственно сжатию и растяжению; $\gamma_{R_{сж}}$ и $\gamma_{R_{рас}}$ – коэффициент остаточной прочности бетона соответственно сжатию и растяжению в течение времени t ; $\alpha_{R_{сж}}$ и $\alpha_{R_{рас}}$ – критерии относительного снижения прочности бетона; $\omega_{сж}$ и $\omega_{рас}$ – критерии повреждения в зонах сжатия и растяжения бетона, зависящий от напряженного состояния $\frac{\sigma_b}{R_b}(t)$; $k_{сж}$ и $k_{рас}$ – приведенный коэффициент повреждения относительно базовой плиты; T_0 – время начала развития коррозии.

На основании экспериментальных исследований определены показатели функции повреждения $\lambda_{R_{сж}}$ и $\lambda_{R_{рас}}$ бетона характеризующая скорость коррозий в определенный период времени t (годы):

$$\lambda_{R_{сж}} = \frac{1}{t} \cdot \frac{\delta R_b(t)}{R_b}; \quad \lambda_{R_{рас}} = \frac{1}{t} \cdot \frac{\delta R_{bt}(t)}{R_{bt}}; \quad (12)$$

На рис. 3. приведен график зависимости прочности бетона $R_b(t)$ от времени t (годы).

На основании экспериментальных исследований определены критерии относительного снижения прочности бетона $\alpha_{R_{сж}}$ и $\alpha_{R_{рас}}$, в зависимости от времени (рис. 4). Данные критерии характеризуют изменение прочности бетона конструкций в зоне растяжения и сжатия в течение времени (годы) в зависимости от морозостойкости F .

На основании экспериментальных исследований определены критерии повреждения бетона в зонах сжатия и растяжения, зависящий от напряженного состояния $\sigma_b / R_b(t)$.

Для каждого этапа нагружения измерялись прогибы и деформации в зонах растяжения и сжатия в течение времени. Кроме измерения, напряженное состояние плиты определялось в расчетной программе, методом конечных элементов (задавая фактические изменения прочности бетона и прогибов) и определялись $\sigma_b / R_b(t)$.

На рис. 5 построены графики критерии повреждения ω в зонах сжатия и растяжения бетона в зависимости от напряженного состояния $\sigma_b / R_b(t)$.



Рисунок 3 - График зависимости изменения прочности бетона $R_b(t)$ от времени t (годы)

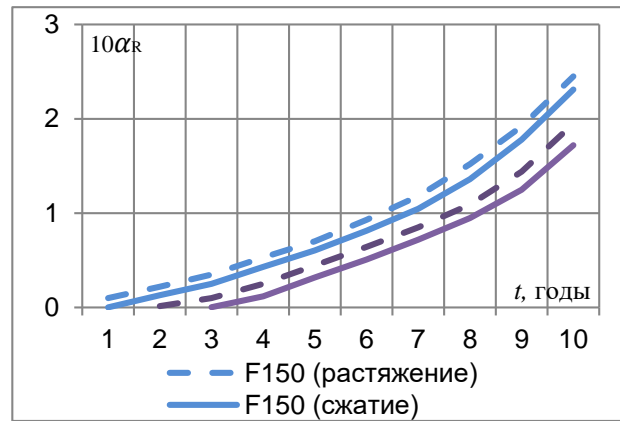
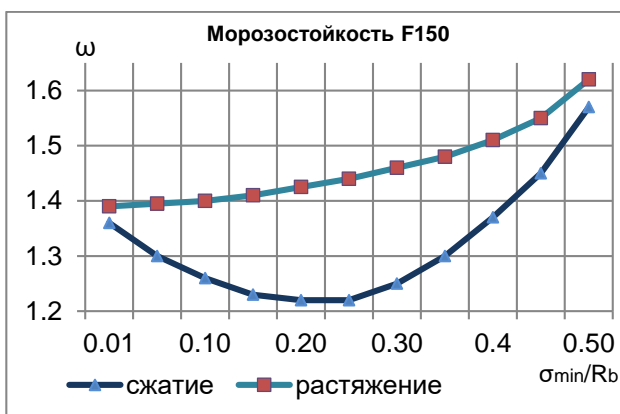
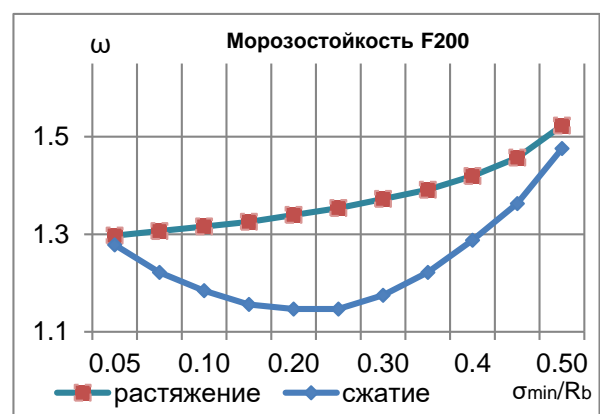


Рисунок 4 - Графики критерии относительного снижения прочности бетона в зависимости от времени (годы) и морозостойкости (F): $\alpha_R - t$



а)



б)

Рисунок 5 - Графики критерии повреждения бетона в зонах сжатия и растяжения конструкций $\omega - (\sigma_{min}/R_b)$ в зависимости от морозостойкости (F): а) F150, б) F200

При наблюдении за плитами в натурных условиях выявлено: при периодическом увлажнении в трещинах с шириной раскрытия $0,1 \div 0,4$ мм сначала арматура корродирует интенсивно, а затем процесс коррозии затухает. При ширине раскрытия $0,4 \div 0,8$ мм и периодическом увлажнении в атмосферных условиях коррозия арматуры перестает развиваться через 5-6 лет.

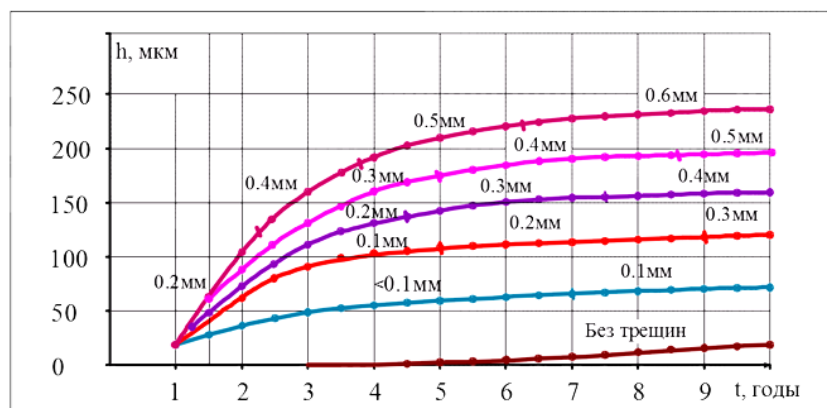


Рисунок 6 - Глубина коррозионного повреждения арматуры в атмосферных условиях г. Москвы (на графике цифрами указаны ширину раскрытия трещин)

В общем случае потерю сечения стального арматурного стержня можно представить по [6], на основании которого определены числовые значения глубины коррозии за определенный период времени для конструкций плит без трещин и с разной шириной их раскрытия (Рисунок 6).

Испытания плит до полного разрушения. Ниже представлены результаты испытания железобетонных плит. Начальные дефекты, армирование сечений, параметры трещин и некоторые характеристики материалов (прочность бетона, площадь поперечного сечения, и диаметр арматуры, коэффициент армирования сечения указаны в [6].

В результате испытаний определены: прогиб плиты, глубины и скорости развития трещин, начало и стадии разрушения растянутого и сжатого бетона и арматурных стержней. Для статического испытания были подготовлены плиты перекрытия размером 1,80х6,40м, толщиной 22 см. Испытания проводились поэтажным нагружением до полного разрушения. На рисунке 7. Показаны загрузка и разрушение плиты при статической нагрузке.



Рисунок 7- Процесс испытания плит (а) и фрагмент разрушения (б)

Максимальный изгибающий момент M_{max} меньше от предельного значения момента, вызывающего трещинообразование.

$$M_{max} < M_{ult}, \quad (13)$$

где M_{ult} — момент трещинообразования полосы плиты шириной $h=1$:

В этой стадии растягивающее напряжение крайнего волокна плиты зоны растяжения меньше нормального сопротивления бетона растяжению:

$$\sigma_{bt} < R_{bt}, \quad (14)$$

где σ_{bt} — растягивающее напряжение крайнего волокна,

Стадия развития неупругих деформаций.

В этой стадии максимальный изгибающий момент приближается к предельному моменту, вызывающему разрушение, а растягивающее напряжение σ_p . В данной стадии принимается следующее неравенство:

$$0.5 \cdot M_{ult} < M_{max} \leq M_{ult}, \quad (15)$$

$$\sigma_{bt} \leq R_{bt} \quad (16)$$

Условие появления одной трещины в нижней зоне по линии ее образования характеризуется двумя неравенствами: Для стадии с трещинами выражения (13) зависят от числа трещин, в соответствии исследованиям Карпенко Н.И. [7,8]. Первоначально рассмотрим описание схемы деформирования в точке с одной трещиной. Переход из 2-й в 3-ю стадию с одной трещиной в точках нижней зоны характеризуется выполнением двух неравенств:

$$M_{max} > M_{ult}; \quad (17)$$

$$M_{min} \leq M_{ult}. \quad (18)$$

При увеличении усилия до $M_{max}=102\text{кН}\cdot\text{м}$, нарушается условие (18), выполняется (17), образуется 2 трещины, и при дальнейшем увеличении нагрузки происходит интенсивное трещинообразование в пролетном сечении плит. В расчетах критерии повреждения бетона и арматуры приняты в соответствии [6] и рис. 3÷5.

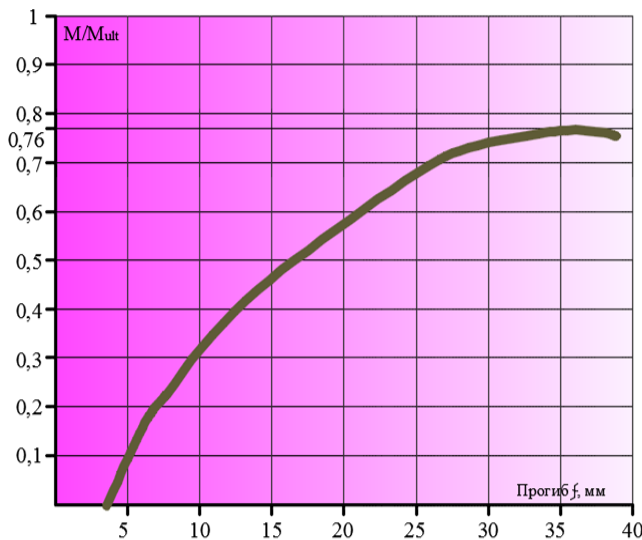


Рисунок 8- Графики зависимости " $M/M_{ult} - f$ "

На рис. 8 приведены графики относительной величины разрушающего момента M/M_{ult} в зависимости от прогиба f , где M, M_{ult} - разрушающие моменты соответственно поврежденной и базовой плиты.

При повреждении центральной части в размере 1/2 протяжённости плиты (а) разрушающий момент составляет $M=102,6 \text{ кН м}$, при этом предельный прогиб составляет 35,0мм. При симметричном повреждении по краям плиты разрушающий момент составляет $M=123,6 \text{ кН м}$, при этом прогиб составляет 37,0мм. Для анализа был выполнен расчет коррозионно-поврежденных плит по схеме повреждения. На рис. 9 показаны отображения изополей прогибов плит в зависимости от схем повреждения (центральная часть (а) и по краям (б)).

С учетом данной работы и [9] можно более конкретизировать методы поиска резервов несущей способности железобетонных плит перекрытия.

Ползучесть бетона плит оценивается по [10, 11] и составляет 11,2% и 14,7% от общей деформации в течение периодов времени 5 лет и 10 лет соответственно.

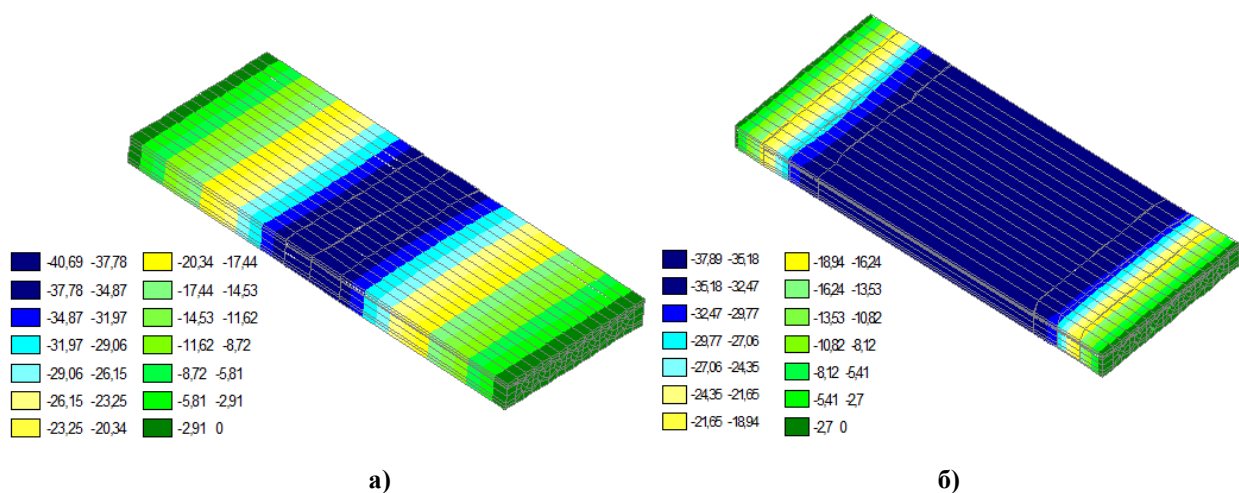


Рисунок 9 - Отображение изополей прогибов Z (мм): а) для центральной части плиты, б) по краям

Выводы

На основании сопоставительного анализа результатов экспериментальных исследований и теоретических расчетов коррозионно-поврежденных плит получены близкие результаты по определению несущей способности конструкций.

Влияние процессов коррозионного повреждения железобетонных плит (в натуральных климатических условиях г. Москвы) проявилось главным образом увеличением прогибов в центре пролета на 8-10% и 4-6% на расстоянии $1/4L$ от середины пролета. Снижение несущей способности составляет 5-7% относительно расчетных значений. Повышенные результаты прогибов конструкций связаны с раскрытием трещин и появлением текучести арматуры в растянутой зоне и неоднородностью конструкций плиты.

Полученные результаты могут быть применены для оценки прочностных и деформационных характеристик и несущей способности железобетонных плит, подвергавшихся циклическому замораживанию-оттаиванию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Савицкий Н.В., Гузев Е.А., Бондаренко В.М. Интегральный метод оценки напряженно деформированного состояния железобетонных элементов в случае воздействия агрессивной среды и силовой нагрузки. Коррозионная стойкость бетона и железобетона в агрессивных средах. М., 1984. С. 20-27.
2. Ramakrishnan V., and Naaman A.E. Cyclic Behaviour. Fatigue Strength. Endurance Limit and Models for Fatigue Behaviour of FRC. *High-Performance Fibre Reinforced Cement Composites*. New York: EFN Spon. 1996. Pp. 101-148.
3. Vu K. A. T., Stewart M.G. Structural Reliability of Concrete Bridges Including Improved Chloride-Induced Corrosion Models // *Structural Safety*. 2000. Vol. 22. No 4. Pp. 313-333.
4. Soh A.K. and Yank C.H. Numerical Modeling of Interactions Between a Macro-Crack and a Cluster of Micro-Defects // *Engineering Fracture Mechanics*. 2004. Vol. 71. Pp. 193-217.
5. ГОСТ 31937-2014 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния». М., 2014.
6. Минасян А.А., Шуклина М.Л., Бояджян А.Ш. Прочность, деформативность и устойчивость поврежденных плит при статических и динамических нагрузках // Теория и практика расчета зданий, сооружений и элементов конструкций. Аналитические и численные методы. III Международная научно-практическая конференция. М.: МГСУ, 2010. С.231-240.
7. Карпенко Н.И., Соколов Б.С., Радайкин О.В. К определению деформаций изгибаемых железобетонных элементов с использованием диаграмм деформирования бетона и арматуры // *Строительство и реконструкция*. 2012. №2 (40). С. 11-12.
8. Карпенко Н.И., Карпенко С.Н. О диаграммной методике расчёта деформаций стержневых элементов и её частных случаях // *Бетон и железобетон*. 2012. №6. С. 20-27.
9. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий // *Промышленное и гражданское строительство*. 2011. №3. С. 23-25.
10. Тамразян А.Г., Есаян С.Г. Механика ползучести бетона. М.: Издательство МИСИ-МГСУ, 2012. 490 с.
11. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона // *Промышленное и гражданское строительство*. 2012. № 7. С. 26-27.

Минасян Арман Арамаисович

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко - АО "НИЦ"Строительство", г. Москва, Россия,
научный сотрудник,

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия,
прикрепленное лицо,

E-mail: 1747210@mail.ru

MINASYAN A.A.

NATURAL TESTS OF REINFORCED CONCRETE SLAB UNDER AFFECTING OF FREEZE-THAW CYCLES

This paper presents the results of studies of the bearing capacity of corrosion-damaged concrete slabs subjected to freezing-thawing. The function of damage of reinforced concrete structures is developed. The results of studies of the bearing capacity of corrosion-damaged concrete slabs subjected to freezing-thawing over time (years) are presented. Experimental data on full-scale tests of reinforced concrete slabs with actual strength characteristics of concrete and partially corroded reinforcement are presented. The graphs of dependence: reduction of concrete strength and working section of reinforcing bars depending on the time (years) in the climatic conditions of Moscow. Strength characteristics of concrete in zones of compression and tension after statistical processing on a probabilistic basis of security are approximated by exponential dependence. On the basis of testing a series of plates of different schemes, the indicators of the function of concrete damage for a given time. The obtained results can be used to assess the strength and deformation characteristics and bearing capacity of reinforced concrete slabs subjected to cyclic freezing-thawing.

Key words: corrosion damage of reinforced concrete slabs, reduction of concrete strength, corrosion of reinforcement, cracks, bearing capacity.

REFERENCES

1. Savitskiy N.V., Guzeyev Ye.A., Bondarenko V.M. Integral'nyy metod otsenki napryazhenno deformirovannogo sostoyaniya zhelezobetonnykh elementov v sluchaye vozdeystviya agressivnoy sredy i silovoy nagruzki. Korrozionnaya stoykost' betona i zhelezobetona v agressivnykh sredakh [An integral method for assessing the stress-strain state of reinforced concrete elements in the event of an aggressive environment and power load. Corrosion resistance of concrete and reinforced concrete in corrosive environments]. Moscow, 1984. Pp. 20-27. (rus)
2. Ramakrishnan V., and Naaman A.E. Cyclic Behaviour. Fatigue Strength. Endurance Limit and Models for Fatigue Behaviour of FRC. High-Performance Fibre Reinforced Cement Composites. New York: EFN Spon. 1996. Pp. 101-148.
3. Vu K. A. T., Stewart M.G. Structural Reliability of Concrete Bridges Including Improved Chloride-Induced Corrosion Models. *Structural Safety*. 2000. Vol. 22. No 4. Pp. 313-333.
4. Soh A.K. and Yank C.H. Numerical Modeling of Interactions Between a Macro-Crack and a Cluster of Micro-Defects. *Engineering Fracture Mechanics*. 2004. Vol. 71. Pp. 193-217.
5. Russian National Standard GOST 31937-2014 «Zdaniya i sooruzheniya. Pravila obsledovaniya i monitoringa tekhnicheskogo so-stoyaniya» [Buildings and facilities. Rules for the inspection and monitoring of technical conditions]. Moscow, 2014. (rus)
6. Minasyan A.A., Shuklina M.L., Boyadzhyan A.SH. Prochnost', deformativnost' i ustoychivost' povrezhdennykh plit pri staticheskikh i dinamicheskikh nagruzkakh [Durability, deformability and stability of damaged plates under static and dynamic loads]. Teoriya i praktika rascheta zdaniy, sooruzheniy i elementov konstruktsey. Analiticheskiye i chislennyye metody. III Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya [Theory and practice of calculating buildings, structures and structural elements. Analytical and numerical methods. III International Scientific and Practical Conference]. Moscow: MSUCE, 2010. Pp. 231-240. (rus)
7. Karpenko N.I., Sokolov B.S., Radaykin O.V. K opredeleniyu deformatsiy izgibayemykh zhelezobetonnykh elementov s ispol'zovaniyem diagramm deformirovaniya betona i armatury [On the determination of deformations of bending ferro-ton elements using the diagrams of the deformation of concrete and reinforcement]. *Building and Reconstruction*. 2012. No 2 (40). Pp. 11-12. (rus)
8. Karpenko N.I., Karpenko S.N. O diagrammnoy metodike rascheta deformatsiy sterzhnykh elementov i yeyo chastnykh sluchayakh [On the diagrammatic method of calculating the deformations of core elements and its particular cases]. *Beton i zhelezobeton*. 2012. No 6. Pp. 20-27. (rus)
9. Tamrazyan A.G., Filimonova Ye.A. Metod poiska rezerva nesushchey sposobnosti zhelezobetonnykh plit perekrytiy [The method of searching for the reserve of bearing capacity of reinforced concrete floor slabs]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2011. No 3. Pp. 23-25. (rus)
10. Tamrazyan A.G., Yesayan S.G. Mekhanika polzuchesti betona [Concrete creep mechanics]. Moscow: Publishing MISI-MGSU, 2012. 490 p. (rus)
11. Tamrazyan A.G. K raschetu zhelezobetonnykh elementov s uchetom polzuchesti i stareniya na osnove reologicheskoy modeli betona [To the calculation of reinforced concrete elements taking into account creep and aging on the basis of a rheological model of concrete]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroitel'stvo*. 2012. No 7. Pp. 26-27. (rus)

Minasyan Arman A.

Central Scientific and Research Institute of Building Constructions named after V.A. Kucherenko - JSC "SIC" Construction", Moscow, Russia,
 Researcher, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
 attached person
 E-mail: 1747210@mail.ru

УДК 79.1

ХОЛОДОВА Е.В.

РАСПРОСТРАНЕНИЕ, ТИПОЛОГИЯ И СОЦИАЛЬНЫЙ ХАРАКТЕР ЗАГОРОДНОГО УСАДЕБНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА КУРСКОГО КРАЯ В XVIII – 1-Й ПОЛОВИНЕ XIX ВЕКОВ

Исследование основано на выявленных архивных и печатных источниках, натурных исследованиях автора, которые позволяют более обоснованно реконструировать образную и материальную структуру утраченных дворянских и купеческих усадеб. 1-я половина XVIII в. являлась мощной платформой для становления дальнейшего роста и развития усадебной жизни Курского края, преимущественно дворянского сословия. Дальнейший период 2-й пол. XVIII- 1-й XIX вв., справедливо названный «золотым веком» русской усадьбы, для Курского края, как и для других регионов страны, являлся периодом расцвета и преумножения владений, усадебного хозяйства, качества нового строительства и реконструкции существующих усадебных комплексов и различных форм усадебной жизни. Новационными являются выявленные типологические характеристики курских имений, их прогрессивная значимость для усадебного жизнеустройства изучаемого региона. Особая значимость выполненной комплексной исследовательской работы обусловлена возможностью заполнить лакуны в изучении важных страниц истории общенациональной и региональной русской культуры, отразившихся на формировании региональных особенностей строительных приёмов и образности архитектурных ансамблей усадеб Курского края.

Ключевые слова: Курский край (губерния), усадьбы, имения, вотчины, господские дома, церкви, строительство, реконструкция.

Введение

Предметом исследования является загородное усадебное строительство Курского края, рассмотренное в рамках значительного в историко-культурном отношении хронологическом периоде – XVIII – 1-й половины XIX вв.

Объекты исследования – поместья, имения, усадьбы и дачи привилегированных сословий Курского края: духовенства, дворянства и купечества.

Поскольку административные границы послереволюционного периода развития страны менялись, при определении территориальных границ исследования принят термин «Курский край», как рабочий инструмент, позволяющий рассматривать существовавшую на протяжении XVIII – 1-й половины XIX веков как территориальную целостность, определявшую формирование в её пределах специфических черт культуры.

Историография проблемы исследования на территории Курского края

Исторические сведения об усадьбах Курского края редко встречаются на страницах до-революционных изданий. Нет отдельных статей и монографических работ комплексных исследований, посвящённых теме строительства и архитектуре Курского края.

Исследователи конца XIX – начала XX вв., оставаясь в рамках исторической фактологии, к сожалению, не развили в своих трудах художественного осознания усадебной архитектуры.

В местной периодической печати (в Курских губернских и Епархиальных ведомостях и др.) упоминания об усадьбах встречаются лишь в фактических сообщениях.

Значительным явлением в курской летописной истории стал выход ряда изданий А.А. Танкова, Д.И. Багалея.

В течение XX века усадьбы Курского края не привлекали должного внимания архитекторов и искусствоведов. Наиболее удачливой оказалась усадьба Барятинских "Марьино", ко-

торой посвятили свои работы архитектор С.И. Фёдоров историк Е.В. Кончин, искусствоведы М.С. Тарасова, Н.А. Синянская.

Описание памятников архитектуры отдельных белгородских усадеб встречаются в очерках архитектора Л.И. Колесниковой.

Исторические сведения из жизни отдельных усадеб Курской губернии и её владельцев прозвучали в публикациях курских исследователей и краеведов (1990-е – 2004 гг.).

Большой вклад в изучение эволюции строительства сельского жилища русско-украинского пограничья внесли труды Л.Н. Чижиковой.

Дворянские имения в процессе крепостничества Центрального Черноземья 1-й половины XVIII в. (эволюция поместно-вотчинного фонда, статистика и структура дворянских поместий) представлены в работах историка С.В. Черникова. Эволюция дворянских и купеческих землевладений Центрального Черноземья в пореформенный период рассмотрены в трудах историков В.А. Шаповалова, В.С. Кулабухова, Г.И. Старченко, В.В. Бычковского, И.Т. Шатохина и др.

Обзор литературы и научных работ, дающий представление о степени достаточно полного освещения проблемы, подтверждает, что Курские усадьбы не были ещё предметом целостного историко-архитектурного исследования периода XVII - начала XX вв. Зарубежные исследования так же отсутствуют.

Актуальность исследования обусловлена тем, что русская усадьба сегодня является реликтовой исчезающей темой. Сегодня бывшие дворянские и купеческие загородные усадьбы Курского края самая незащищённая часть объектов культурного наследия - бесхозные, разбираемые на стройматериалы, калечащиеся некомпетентными ремонтами. К началу XX в. в Курской губернии было более 6 000 усадеб. На территории современных регионов, входящих в бывшую Курскую губернию, можно назвать лишь около 100 мест, где фрагменты усадебных комплексов, различимы по остаткам аллей парков, прудов и усадебных строений. Усадебных комплексов, поддерживаемых регулярной реставрацией единицы. В результате хозяйственной деятельности исчезают семейные некрополи и уникальные усадебные ландшафты.

С курскими усадьбами связаны жизнь и деятельность многих известных исторических личностей, общественных и политических деятелей и деятелей науки и искусства. Курская усадьба стала колыбелью становления отечественной науки, искусства и культуры.

Цель, задачи и границы исследования. Основная цель работы – раскрытие особенностей загородного усадебного строительства одной из значительных территорий чернозёмных областей южного порубежья России – Курского края в XVIII – 1-й половины XIX вв. Для чего решается основная задача: рассмотрение социально-экономических, культурно-исторических предпосылок, определивших типологические черты и распространение землевладений и строительства загородных усадебных комплексов Курского края.

Курский край один из обширнейших черноземных областей южного порубежья России. Плодородные почвы и благоприятный умеренный климат сделали этот регион весьма привлекательным для развития сельского хозяйства и загородного усадебного строительства.

Благодатное Чернозёмье – основная хлеборобная нива, занимала всего 8,6% пахотных угодий территории страны, но на неё приходилось 60 % пашни, на которой производилось 80 % общего числа зерновых [1].

В течение XIII - XVIII вв. Курский край был ареной борьбы русского народа против иноземных захватчиков. Лишь только в XVIII столетии границы России передвинулись далеко на юг, и Курский край из пограничной области постепенно становится «тыловым районом» [2].

После татарского нашествия Курский край был опустошен, обезлюдел, превратился в пустыню – «Дикое поле».

В 1508 г. эти земли вошли в состав Московского государства, для охраны южных границ которого требовались служилые люди.

В 1571 г. последовал указ набора на сторожевую службу вольных людей всех сословий. На время службы их наделяли землёй. Впоследствии эти земли превращались в вотчины, становились наследственным владением. Правительство было заинтересовано в достаточном количестве служилых людей и потому поощряло мелких помещиков, запретив приобретать в собственность землю богатым, чтобы лишить бояр сосредоточить у себя крупные массивы чернозёмной земли.

Долгое время эта территория подвергалась нападению неприятеля с запада и юга, и только в середине XVII в. значительно была укреплена и защищала границы государства, в связи с чем началось массовое заселение Курского края. Основные колонизационные потоки населения шли из центральных частей Московского государства и с запада из Правобережной Украины [3].

Первые, обустроенные землевладельцами территории появлялись вблизи укрепленных городов.

«Колонизация края начиналась с постройки укрепленных городов. Земли, ближе расположенные к городам по пути станичных разъездов, уже закрепленные таким образом правительством за собой, раздавались правильными участками служилым людям с обозначением мест для их усадеб, водопоев и мест, где им следует брать лес для застройки – "селитебной лес". Земли же, лежащие вдали от населенных мест и вследствие того находящихся под угрозой неприятельских набегов, правительством отдавались в оброк или в поместье более богатыми и экономически сильным лицам, громадными площадями.

Они впервые вносили жизнь в неиспользованные пространства степей и лесов. Кроме них появлялись и разные вольные люди на свой страх углублявшиеся далеко за пределы населенных мест в поисках или свободы, или выгод.



Рисунок 1 - Незвестная усадьба юга Курской губернии. Рисунок неизвестного художника XIX в.

Естественным способом использования таких больших дач были, разумеется, бортный промысел, рыбные и звериные ловли. Для удобства использования указанные лица делали для остановок небольшие дворы, которые посещались владельцами только в определенные сезоны, а остальное время пустовали, как и тогда можно наблюдать это в Сибири. Отсюда множество, "починков" и "заимок", которыми пестрит писцовая книга Белгорода» [4, с.75]. Причём в названиях этих заимок сохранялись имена первых колонизаторов края.

На рубеже XVII-XVIII вв., с передвижением пограничной черты к югу, земли, лежавшие в пределах Курского края «оказались доступными для более полного и культурного использования и были розданы уже не для бортных ухажей, рыбных и звериных ловель, а для заселения и хлебопашества, при чем в раздачу попали и прежние починки, и заимки» [4, с.75].

При Петре I, когда границы России отодвинулись к Чёрному и Азовскому морям, курские земли утратили значение пограничных, отпала необходимость содержать служилых людей и их перевели в сословие однодворцев, число которых значительно превосходило число в соседних областях. И именно однодворцев считают коренным населением края [2].

Социальный состав поселенцев был разнообразный: сюда направлялось множество служилых людей, которых правительство наделяло землей, чтобы закрепить их. Среди них было немало представителей привилегированных сословий — дворян, которые получали значительные по площади землевладения. Сюда же прибывали ремесленники и беглые крестьяне. Таким образом, уже в середине XVIII в. территория Курского края была заселена, причём большая часть, её оказалась в руках крупных землевладельцев, которые позже целыми поселениями перенаправляли сюда крестьян из различных мест Московского государства. С продвижением колонизации на юг, этот край стал центральным, расположенным на важных путях, соединяющих различные части обширной Русской равнины. Такое выгодное положение оказало в дальнейшем значительное влияние на высокий уровень развития его хозяйства и развития усадебное строительство в целом [2].

Исторические источники подтверждают [5], что в XVIII-1-й половине XIX вв. преобладающее количество владений Центрально-Чернозёмного региона принадлежали дворянам и 1-я половина XVIII столетия стала новым этапом в развитии дворянского землевладения, более половины которых, являлись мелкопоместными, и более 30 % среднепоместными. В эти же показатели входил и Курский край. [6, с.197].

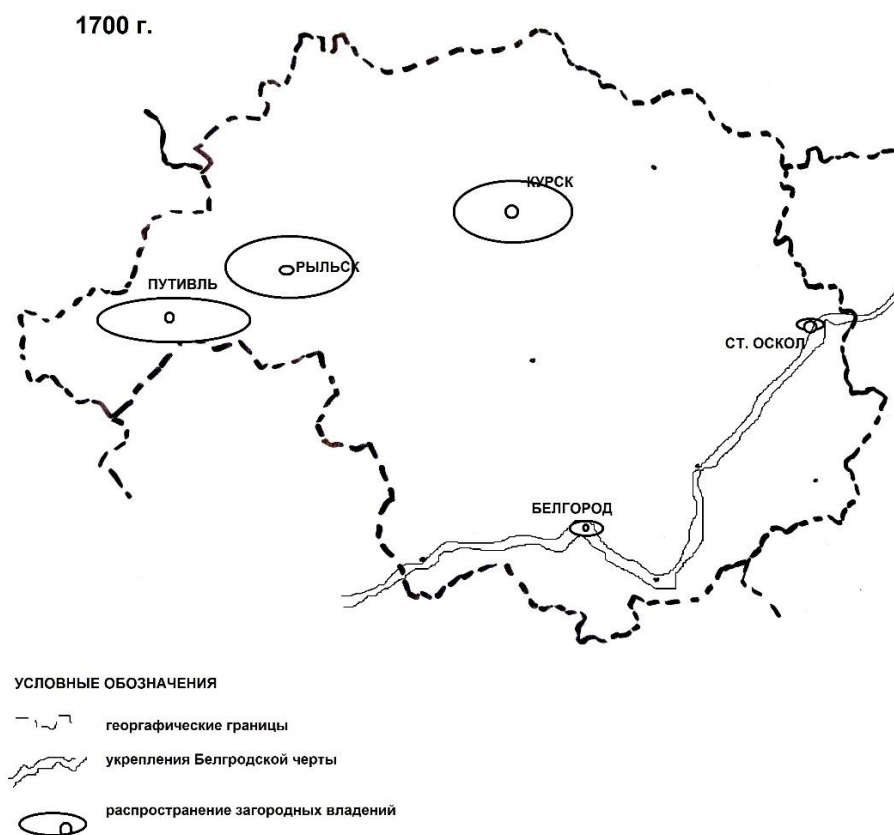


Рисунок 2 - Распространение курских усадеб в 1-й половине XVIII в.

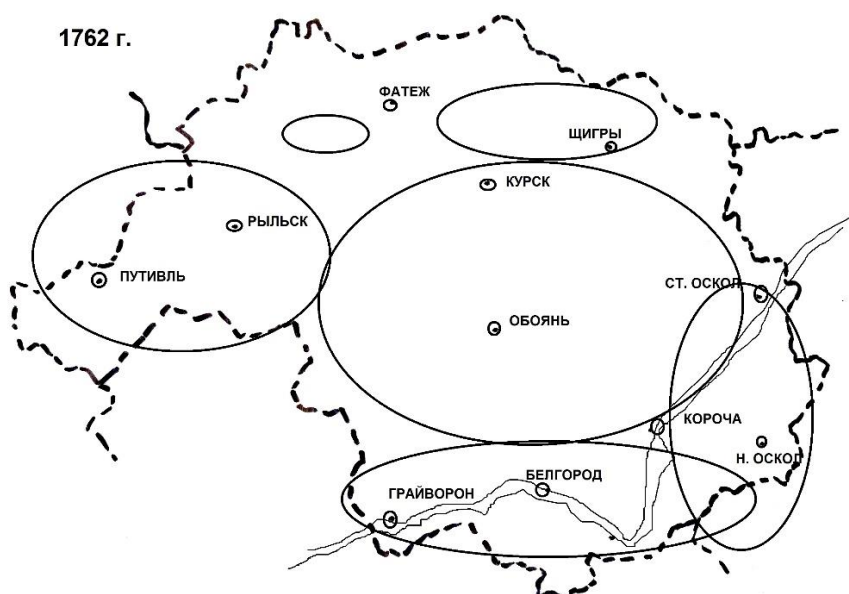


Рисунок 3 - Распространение курских усадеб во 2-й половине XVIII в.

Активное освоение плодородных земель в условиях значительного развития крепостнического хозяйства было основой сохранения его доходности. Уже к рубежу XVII-XVIII вв. Центральнo-Черноземный регион (ЦЧР) стал одним из центров дворянского землевладения, а в 1-й половине XVIII столетия процесс расширения дворянских имений в ЦЧР резко активизировался. Дворянская экспансия была тесно связана с освоением юга страны и борьбой за землю с однодворческим населением. В это же время здесь окончательно сформировался один из основных зернопроизводящих районов Российского государства [5, с.177].

Важным аспектом исследования является рассмотрение количественных и структурных характеристик имений дворянства: их поуездное размещение, соотношение различных типов владений (мелких, средних, крупных и крупнейших). Для раскрытия основных процессов и характера загородного строительства края, безусловно представляет интерес рассмотрение основных направлений крепостнической колонизации ЦЧР в контексте правительственного курса по отношению к однодворческому Югу России, процессы концентрации земельного фонда Центрального Черноземья в руках привилегированного сословия.

На протяжении 1-й половины XVIII в. произошло окончательное слияние двух форм феодальной собственности на землю, была ликвидирована поместная система, существовавшая в России с конца XV века. К 1762 г., в связи с принятием «Манифеста о вольности дворянства», завершился процесс освобождения сословия от обязательной государственной службы. Происходит масштабный количественный рост дворянского землевладения и рост загородного усадебного строительства. При этом учитывая, что более 93 % здесь составляют мелкие и средние владения, в которых преимущественно постоянно и жили владельцы, то по количественным показателям вотчин можно ориентировочно о количестве усадеб на этот период.

Таким образом, из приведенных данных, можно заключить, что к началу XVIII в. было на территории Курского края более 600 усадеб, причем по завершении 1-й четверти XVIII в. увеличение их числа произошло в три или три с половиной раза и эти показатели пришли уже к середине XVIII в. Т.е. вероятная возможность количества загородных усадеб могла быть к этому периоду около 2500 усадеб.

По данным о «размещение поместно-вотчинного фонда правящей группы феодалов» на 1700 г. в четырёх уездах Курского края даны владения стольников, которые были в следую-

щих уездах: Курский – 1 владение 13 дворов; Путивльский - 1 владение 12 дворов, Рыльский - 3 владения 38 дворов, Старооскольский - 1 владение 1 двор [5, с.214-215]. По принятым размерам дач стольников в первой четверти XVIII в., которые были в среднем 450 четвертей (т.е. около 200 га) можно получить представление о размере территории крупных владений края на это время [5, с.210].



Рисунок 4 - Нескучное. Вид на усадьбу Лансере с птичьего полёта. Художник А.Б. Серебряков. 1946 г.

Крупнейшие дворо- и душевладельцы Курского края на 1700-1718 г., владения которых были так же в соседних регионах ЦЧР, следующие:

Курский у. - Нарышкин Александр Львович (20 душ м.п.); Шереметев Алексей Петрович, поручик морского флота (73 душ м.п.);

Обоянский у. - Ушаков Андрей Иванович, генерал-майор, кавалер (19 душ м.п.) [5, с.223-225].

Крупнейшие дворо- и душевладельцы Курского края на 1761 г., владения которых были так же в соседних регионах Чернозёмного края, следующие:

Курский у. – Гагарин, кн. Матвей Алексеевич (157 душ м.п.); Голицына, кн. (урожд. Кантемир, кн.) Екатерина (Смарагда) Дмитриевна (805 душ м.п.); Дурново Василий Петрович, надворный советник (834); Наумова (урожд Самарина) Мария Михайловна (4); Трубецкой, кн. Дмитрий Юрьевич, лейб-гвардии капитан (205 душ м.п.).

Рыльский и Путивльский у. – Мазепа Иван Степанович, гетман Войска Запорожского (3 587 десятин, 21 село, 7 деревень, 4 слободы) [6].

Рыльский у. - Голицына, кн. (урожд. Кантемир, кн.) Екатерина (Смарагда) Дмитриевна (377 душ м.п.); фон Гольштейнбек, кн. (урожд. Гр.Головина) Наталья Николаевна (4065 душ м.п.); Пашков Пётр Егорович (116 душ м.п.); Сафонов Евтих Иванович, лейб-гвардии секунд-майор (365 душ м.п.); Шереметев, гр. Борис Петрович, генрал-аншеф, обер-камергер, сенатор, кавалер (564 душ м.п.).

Путивльский у. - фон Гольштейнбек, кн. (урожд. Гр.Головина) Наталья Николаевна (1314 душ м.п.); Тютчев Фадей Петрович (8 душ м.п.).

Яблоновский у. - Трубецкой, кн. Дмитрий Юрьевич, лейб-гвардии капитан (не изв.) [5, с.223-228].

Вторая половина XVIII – 1-я пол. XIX вв. в России является по истине «золотым веком» дворянства. Новые реформы дают большую оседлость в своих имениях, и продолжение роста усадебного строительства, характер которого наглядно иллюстрирует статистика второй половины XVIII – 1-й половины XIX вв.

По обобщённым данным статистических источников можно представить общую картину распространения усадеб, их характерные черты, определить основные типологические особенности курских землевладений.

В сводных таблицах отражены общие данные, позволяющие увидеть картину усадебного строительства в Курском крае в последней четверти XVIII в. Из Таблицы № 1 видно, что большинство владельцев – «дворяне, живущие в деревнях», мелкие и средней руки усадьбы и лишь пятая часть (по всей видимости, средние и крупные) – «дворяне, имеющие деревни и людей, а жительствовавшие в других городах и уездах, а также состоящие на службе». По числу господских домов предполагается, что в то время число усадеб немногим превышало две тысячи. Причём, деревянное строительство было преобладающим [7, с.38].

Таблица 1 - Усадебное строительство в Курском крае в последней четверти XVIII в. [7-9].

год	всего селений	церкви		всего	господские дома		всего	владельцы, живущие в имениях	владельцы не живущие в имениях
		кам.	дер.		кам.	дер.			
1784	2040	45	596	641	16	2339	2355	2130	441
1786	2231	45	588	633	16	2326	2342	2189	492
1804	2231	нет данных	нет данных	нет данных	16	2236	2342	2190	492

Таблица 2 - Сводная ведомость по округам Курского наместничества на 1761-1767 гг. [8; ч.1-5].

округа	всего селений	церкви		всего	господские дома		всего	владельцы*	
		кам.	дер.		кам.	дер.		1	2
Белгородская	112	2	42	44	1	86	87	97	18
Богатинская	100	3	37	40	-	106	106	72	18
Дмитриевская	146	8	57	65	4	210	214	176	52
Корочанская	82	-	41	41	2	95	97	83	14
Курская	184	5	36	41	2	251	253	279	79
Льговская	146	7	41	48	4	154	158	117	43
Новооскольская	70	2	29	31	-	46	46	30	6
Обоянская	125	2	43	45	-	105	105	81	33
Путивльская	172	3	29	32	-	237	237	310	31
Рыльская	212	3	46	49	-	285	285	228	30
Старооскольская	136	2	43	45	-	131	131	108	18
Суджанская	139	1	43	44	-	116	116	99	34
Тимская	106	1	41	42	1	119	120	134	21
Фатежская	159	2	34	36	1	153	154	102	56
Щигровская	151	4	34	38	1	245	246	214	49
ИТОГО:	2040	45	596	641	16	2339	2355	2130	441

* данные в последней колонке: по 3-й ревизии на 1767 г. под №1 - "дворяне, живущие в деревнях", под №2 - "дворяне, имеющие деревни и людей, а жительствовавшие в других городах и уездах, а также состоящие на службе"

Обзор сведений из «Топографического описания Курского наместничества» (по данным 3-й (1767 г.) и 4-й ревизиям (на 1784 г.) позволяет представить общую картину усадебного строительства на этот период и сделать следующие выводы.

Общее число усадеб, по данным о количестве господских домов, составляло - 2 355.

Таблица №2 показывает, что распространение усадебного строительства по территории Курского наместничества происходило не равномерно. Наиболее насыщенные усадебные районы были на западе, центре и северо-востоке наместничества - Путивльском, Рыльском, Дмитриевском, Курском и Щигровском округах. Большинство владельцев постоянно проживало в своих имениях.

Статистика 1780-х гг. показывает, что большинство дворян были мелкопоместными: «дворян живущих и не живущих в наместничестве 2 622 [дано число городских и загородных – Е.Х.], из оного числа богатых 100, средних 1500, бедных - 1022 человека» [8; Ч.15.Л.101].

Современники дают такую характеристику землевладельцам этого времени: «Дворяне в губернии сей состояние имеют посредственное и большая часть людей мало поместных, которые, однако, ведут жизнь благородную. Детей своих приготавливают к военной службе, большие ж и знаменитые поместья принадлежат знатым фамилиям, которые в них не живут» [10].

Через 20 лет, по статистике 1804 г., наблюдается небольшое увеличение всех селений – 2231, при помещичьих селениях домов каменных - 16, деревянных - 2326, всего - 2342, господ дворян, живущих в селениях - 2190, имеющие деревни и людей, а жительствующие в других городах и уездах, а также состоящие на службе – 492 [9].

На 1810 г. следующая статистика: «[...] Население до 1 424 900 душ, на квадратную милю 2127 душ, на квадратную версту 43,5 души. Однودворцев 224 000 души» [11, с.237].

Во второй половине XIX в. продолжается рост владений дворян и строительства усадеб. Современники отмечали большой размах строительных работ в этот период: «...Если судить о доходах помещиков по постройкам ими возводимых, то заключение выйдет самое утешительное! В какое поместье мы не заезжали, везде строились или перестраивались, и большею частью предметом строительных работ были помещичьи дома» [12, с.99].

Помещичье землевладение в России накануне отмены крепостного права, как и в предыдущие века базировавшееся на сословной исключительности дворянства, являлось привилегированным в общесословном земельном фонде. Дворяне, составлявшие 1 % населения империи, владели 1/3 всех земельных угодий. Помещики Центрального черноземья имели в своих руках 46,6% земельного фонда региона, занимая по этому показателю 5 место после Юго-Западного района - 72%, Западного - 66,8%, Центрального Нечерноземья - 55.1%, Северо-Западного - 48%. Внутри Центрально-Черноземного региона погубернская структура дворянского землевладения в отношении к другим поземельным категориям была практически одинакова: в Воронежской губернии - 37.9%, в Курской губернии - 42,7%. Небольшая разница в увеличении процента к югу объяснялась историей заселения края, когда правительство раздавало пограничные земли служивым людям в виде поместного оклада за службу [13, с. 35].

Перед реформой 19 февраля 1861 года дворяне-помещики Курской губернии доминировали в общесословном фонде земель, уступая по площади лишь землям государственных крестьян. Это было обусловлено сословной привилегией дворян - правом монопольного владения населенными землями [13, с. 220].

Накануне отмены крепостного права в черноземном центре (6 губерний) было сосредоточено около четверти всех дворян-помещиков и почти пятая часть крепостных крестьян России. В руках у 23 728 помещиков находилось 1 867 313 ревизских душ, господская запашка достигла 6,5 млн. дес. В пользовании крестьян было 6 млн. дес. - 17% земельного фонда, находившегося к крестьянской запашке 45 губерний Европейской России [14, с. 25-26].

Таблица 3 - Статистические сведения о числе частных зданий и церквей на 1850 г. [15, с.28-33, 36-37].

Уезд	Число частных жилых домов		Число церквей	
	каменные	деревянные	каменные	деревянные
Белгородский	15	11325	33	35
Грайворонский	7	15415	20	37
Дмитриевский	18	9 900	29	47
Корочанский	3	12747	20	46
Курский	13	14947	22	42
Львовский	9	9091	26	32
Новооскольский	22	14560	19	31
Обоянский	21	14469	23	46
Путивльский	13	10672	19	27
Рыльский	16	11692	18	43
Старооскольский	18	11470	35	12
Суджанский	12	10282	17	45
Тимский	8	8727	16	29
Фатежский	30	11170	11	31
Щигровский	7	13661	23	25
Итого:	212	180 128	331	537
ВСЕГО:	180 339		868	

К середине XIX в. Курская губ. являлась одной из густонаселённых областей России. По данным на 1850 г. всего жителей в Курской губ. насчитывалось 1 894 297 человек, из них потомственных дворян – 11 729, купцов – 13 845; мещан 66 944. Всех селений исчислялось 2 745 (сёл – 714, слобод – 159, деревень – 1441, хуторов – 431, церквей – 952, – из них 413 каменных и 539 деревянных) [15].

Накануне реформы Курская губерния стояла на одном из первых мест по числу мелких помещиков. Всех владельцев имений было 5 250, из которых 4 479 имевших от 1 до 100 ревизских душ (мелкопоместные – 85%) [15, с.10].

Мелкие курские помещики владели 18,6% земельного дворянского фонда, что характерно по общей тенденции в Центрально-Черноземном районе. Около 1 тыс. курских дворян имело по 5 дес., а некоторые владели еще меньшим количеством земли. У трёх тысяч было меньше 21-й крепостной души [15]. Число мелкопоместных дворян в губернии быстро сокращалось к середине XIX в. их число снизилось с 4680 до 3299 [14, с.27-28].

Среднее дворянское землевладение было незначительным, удельный вес его составлял 10,8% от общего дворянского земельного фонда. Крупное дворянское землевладение в некоторой степени являлось препятствием для роста землевладения средних помещиков, т.к. оно располагало более мощными финансово-экономическими возможностями и доминировало на земельном внутрисословном рынке. Но вместе с чем, кризис феодально- крепостнической системы, разорение дворянства способствовали выбросу на рынок достаточно земли за счет мелких помещиков и число дворян- землевладельцев, имевших от 21 до 100 ревизских душ возросло с середины 30-х до конца 50-х гг. XIX в. с 1255 до 1392 [14, с.27-28].

В губернии доминирующее положение занимало крупное дворянское землевладение - 60,6%. В дореформенный период наметилась тенденция к увеличению числа крупных дворян-помещиков. Если в 1857 г. их было 95, то к 1861 г.- 102 [14, с.27-28].



Рисунок 5 - Москва. Дворцово-парковый комплекс Нелидовых. Гравюра XIX в.

Так, в числе 630 цензовых дворян было отмечено 73 крупных землевладельца, имевших к 1861 г. более 3 000 дес. земли [16]. Среди них особо выделялись следующие владельцы: Шереметевы – более 75 000 дес. (Белгородский, Грайворонский, Дмитриевский, Новооскольский у.), Барятинские – около 61 500 дес. (Рыльский, Львовский, Суджанский у.), Юсуповы – 42 000 дес. (Грайворонский у.), Трубецкие – 34 000 дес. (Корочанский, Новооскольский, Старооскольский у.), Изъединовы – около 22 000 дес. (Новооскольский, Львовский у.), Нелидовы – около 25 000 дес. (Дмитриевский, Корочанский, Курский, Львовский, Обоянский у.), Клейнмихели – около 24 000 дес. (Обоянский, Старооскольский у.), Череповы – более 18 000 дес. (Путивльский у.), Карамзины – 13 000 дес. (Обоянский, Курский у.), Голицыны – около 13 000 дес. (Дмитриевский у.), Хорваты – 12 600 дес. (Грайворонский у.), Виельгорские около 12 000 дес. (Дмитриевский у.), Мейендорфы – около 12 000 дес. (Дмитриевский у.), Хлюстины – 11 500 дес. (Грайворонский у.) и др. [16, с.468-617].

Выводы

Типологические характеристики усадебных комплексов XVIII – 1-й половины XIX вв. носили региональный оттенок и зависели от исторических событий, природно-климатических, географических, социально-экономических особенностей.

Плодородие почвы и благоприятные природно-климатические условия, сделали Курскую губернию передовой в развитие сельского хозяйства, что, в свою очередь, способствовало большому распространению загородного усадебного строительства.

Исторические источники подтверждают, что в XVIII - 1-й половине XIX вв. преобладающее количество владений Курского края принадлежали дворянам, где 1-я половина XVIII столетия стала новым этапом в развитии дворянского землевладения. Более 50 % дворянских владений являлись мелкопоместными, и более 30 % - среднепоместными, с постоянным проживанием владельцев в своих усадьбах, и они играли самую активную роль в местной жизни. Владельцы же крупных имений редко наезжали в свои провинциальные хозяйства, предпочитая им парадные столичные резиденции, а их курские усадьбы принадлежали к числу доходных имений, где всё было организовано для успешного ведения хозяйства.

К началу XVIII в. на территории Курского края числилось более 600 усадеб, причем по завершении 1-й четверти XVIII в. увеличение их числа произошло в три или три с половиной

раза, и эти показатели стабилизировались уже к середине XVIII в. Т.е. вероятная возможность количества загородных усадеб могла быть к этому периоду около 2500 усадеб. При этом 93 % здесь составляют мелкие и средние владения.

Территориальное распространения усадеб на протяжении 1-й половины XVIII в. было неравномерным. Около 90% всех усадеб были сосредоточены в центральной и западной части Курского края, вблизи городов Курска, Рыльска, Путивля, и позднее к середине XVIII в. увеличение плотности усадеб возникает вместе с движением всего населения на юг у городов Белгорода, Старого Оскола, Обяни и др.

Социальный состав поселенцев был разнообразный: служилые люди, ремесленники, беглые крестьяне, «воровские черкасы» - казаки. Однако значительные по площади землевладения были закреплены все же за дворянами. Таким образом, уже в середине XVIII в. вся территория Курского края была заселена, причём большая часть, её оказалась в руках крупных землевладельцев, которые в течении 2-й половины XVIII - нач. XIX вв. целыми поселениями перенаправляли сюда крестьян из различных мест Московского государства. С продвижением колонизации на юг, этот край стал центральным, расположенным на важных путях, соединяющих различные части обширной Русской равнины. Такое выгодное положение оказало в дальнейшем значительное влияние на высокий уровень развития его хозяйства и развития усадебного строительства в целом.

К 1762 г., в связи с принятием «Манифеста о вольности дворянства», завершился процесс освобождения сословия от обязательной государственной службы. Происходит масштабный количественный рост дворянского землевладения и усадебостроительства.

Вторая половина XVIII – 1-я пол. XIX вв. в России является по истине «золотым веком» дворянства. Новые реформы дают большую оседлость в своих имениях, и продолжение роста усадебного строительства. К началу XIX в. в Курской губернии насчитывалось около 2400 дворянских усадеб, причём практически все строения были деревянные.

Во второй половине XIX в. продолжается рост усадебных владений и строительства усадеб. Помещичье землевладение отмены крепостного права, как и в предыдущие века базировавшееся на сословной исключительности дворянства, являлось привилегированным в общесословном земельном фонде.

Структура дворянского землевладения в отношении к другим поземельным категориям в Курской губернии была - 42,7%, что на 15-20 % выше чем в соседних регионах ЦЧР. Небольшая разница в увеличении процента к югу объяснялась историей заселения края, когда правительство раздавало пограничные земли служивым людям в виде поместного оклада за службу.

Перед реформой 19 февраля 1861 года дворяне-помещики Курской губернии доминировали в общесословном фонде земель, уступая по площади лишь землям государственных крестьян. Это было обусловлено сословной привилегией дворян - правом монопольного владения населенными землями.

К середине XIX в. Курская губ. являлась одной из густонаселённых областей России.

Накануне реформы Курская губерния стояла на одном из первых мест по числу мелких помещиков. Всех владельцев имений было 5 250, из которых 4 479 имевших от 1 до 100 ревизских душ (мелкопоместные – 85%).

Мелкие курские помещики владели 18,6% земельного дворянского фонда, что характерно по общей тенденции в Центрально-Черноземном районе. Около 1 тыс. курских дворян имело по 5 дес., а некоторые владели еще меньшим количеством земли. У трёх тысяч было меньше 21-й крепостной души. Число мелкопоместных дворян в губернии быстро сокращалось к середине XIX в. их число снизилось с 4680 до 3299.

Среднее дворянское землевладение было незначительным, удельный вес ею составлял 10,8% от общему дворянского земельного фонда. Крупное дворянское землевладение в некоторой степени являлось препятствием для роста землевладения средних помещиков, т.к. оно

располагало более мощными финансово-экономическими возможностями и доминировало на земельном внутрисословном рынке. Но вместе с чем, кризис феодально- крепостнической системы, разорение дворянства способствовали выбросу на рынок достаточно земли за счет мелких помещиков и число дворян- землевладельцев, имевших от 21 до 100 ревизских душ возросло с середины 30-х до конца 50-х гг. XIX в. с 1255 до 1392.

В губернии доминирующее положение занимало крупное дворянское землевладение - 60,6%. В дореформенный период наметилась тенденция к увеличению числа крупных дворян-помещиков. Если в 1857 г. их было 95, то к 1861 г.- 102.

Таким образом, 1-я половина XVIII в. являлась мощной платформой для становления дальнейшего роста и развития усадебной жизни Курского края, преимущественно дворянского сословия. Дальнейший период 2-й пол. XVIII- 1-й XIX вв., справедливо названный «золотым веком» русской усадьбы, для Курского края, как и для других регионов страны, являлся периодом расцвета и преумножения владений, усадебного хозяйства, качества нового строительства и реконструкции существующих усадебных комплексов и различных форм усадебной жизни.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Щербаков А. «Главный кормилец России»: К 100-летию особой экспедиции В.В. Докучаева // Курская правда. 1991. 22 окт.
2. Климов И. Я. Курская губерния во второй половине XIX века // Учёные записки. Курск: издание Курского гос. педагогического ин-та, 1968. Т.47.
3. Зорин А.В., Стародубцев Г.Ю., Чубур А.А., Шпилёв А.Г. Курский край сквозь века. Курск: Полстар, 2014. 256 с.
4. Поздняков Л.Н. Белгород с уездом XVII в. Состояние края до 1600 года // Известия Курского Губернского Общества Краеведения: Орган Совета Общества. Курск: Издание Курского губернского Общества Краеведения, 1927. №5. С.75.
5. Черников С.В. Дворянские имения Центрально-Чернозёмного региона России в первой половине XVIII века. Рязань: Частный издатель П.А.Трибунский, 2003. 348 с.
6. Плохинский М. Гетман Мазепа в роли великорусского помещика // Сборник Харьковского историко-филологического общества. Харьков: Типография К.Счастни, 1892. 53 с.
7. Холодова Е.В. Пореформенные усадьбы Курской губернии 1861-1917 годов. Орёл: ООО «Новое время». 392 с.
8. РГВИА (Российский государственный Военно-исторический архив) Ф.ВУА. «Топографическое описание Курского наместничества по минувшей 3-й и нынешней 4-й ревизии, сочинено тщанием сея правителем господином Зубовым в 1784-м году". Д.18800. Ч.1-15.
9. Щекатов А.М. Словарь географический Российского государства. Ч. 3: К—М. М.: Унив. тип. у Любия, Гария и Попова, 1804. [2] с., 1238 стб.
10. РГВИА. Ф.ВУА. Д.18801. Описание Курского наместничества вообще и порознь всякого города и уезда, с планами города и картами уезда, сочинённое в 1775 году курским губернским землемером и поручиком Иваном Башиловым. Л.1-173 об.
11. Зябловский Е. Землеописание Российской Империи для всех состояний, Санкт-Петербургского Педагогического Института Ординарного Профессора Евдокима Зябловского. СПб.: Тип. Ф. Дрехслера, 1810. Ч.V. 509 с.
12. Юревич П. Агрономические путешествия по России. Сельскохозяйственные наблюдения по дороге из Коренной в Харьков // Журнал Министерства Государственных Имуществ. 1852. Ч. XLIV. №7. С. 89-90, 93.
13. Шаповалов В.А. Дворянство Центрально-Чернозёмного региона России в пореформенный период. М.-Белгород: БелГУ, 2002. 252 с.
14. Эволюция сословной структуры общества на примере Центрального Черноземья в пореформенный период (на примере Курской губернии) / Под ред. В.А. Шаповалова. Белгород: Изд-во БелГУ, 2005. 428 с.
15. Труды Курского Губернского Статистического Комитета. Курск: Тип. Губ. Правления, 1863. В.I. 325 с.
16. Россия. Полное географическое описание нашего Отечества. Настольная и дорожная книга для русских людей. Среднерусская чернозёмная область / Под ред. В.П. Семёнова. СПб.: Изд. А.Ф. Девриена, 1902. Т.2. 716 с.

Холодова Елена Васильевна

Научно-исследовательского института теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ) Филиала ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России", г. Москва, Россия,

кандидат архитектуры, член Союза архитекторов России; советник РААСН; ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института теории и истории архитектуры и градостроительства (НИИТИАГ) Филиала ФГБУ "ЦНИИП Минстроя России" (Москва); эксперт по проведению государственной историко-культурной экспертизы, живёт и работает в Курске.

E-mail: tora-9@yandex.ru

KHOLODOVA. E.V.

DISTRIBUTION, TYPOLOGY AND SOCIAL IN NATURE COUNTRY MANOR CONSTRUCTION OF KURSK REGION IN THE XVIII – FIRST HALF OF XIX CENTURY

The study is based on the identified archival and printed sources, the field research of the author, which allows for a more reasonable reconstruction of the figurative and material structure of the lost noblemen and merchant estates. 1st half of the 18th century was a powerful platform for the development of further growth and development of the estate life of the Kursk region, mainly of the nobility. The next period is the 2nd half of XVIII- 1st half of XIX centuries, rightly called the "golden age" of the Russian estate, for the Kursk region, as well as for other regions of the country, was the heyday and increase of possessions, estate economy, quality of new construction and reconstruction of existing estate complexes and various forms of estate life. The identified typological characteristics of Kursk estates, their progressive significance for the estate life-style of the studied region are innovative. The particular significance of the comprehensive research work is due to the possibility of filling the lacunae in the study of important pages of the history of national and regional Russian culture, reflected in the formation of regional features of building techniques and imagery of architectural ensembles of the Kursk region.

Keywords: Kursk region (province), estates, estates, patrimony, manor houses, churches, construction, reconstruction.

REFERENCES

1. Shcherbakov A. «Glavnyy kormilets Rossii»: K 100-letiyu osoboy ekspeditsii V.V. Dokuchayeva ["Main breadwinner of Russia": To the 100th anniversary of the special expedition of V.V. Dokuchaeva]. *Kurskaya Pravda*. 1991. 22 okt. (rus)
2. Klimov I. YA. Kurskaya guberniya vo vtoroy polovine XIX veka [Kursk province in the second half of the XIX century]. *Uchonyye zapiski*. 1968. Vol. 47. (rus)
3. Zorin A.V., Starodubtsev G.YU., Chubur A.A., Shpilov A.G. Kurskiy kray skvoz' veka [Kursk region through the centuries]. Kursk: Polstar, 2014. 256 p. (rus)
4. Pozdnyakov L.N. Belgorod s uyezdom XVII v. Sostoyaniye kraya do 1600 goda [Belgorod county XVII. State of the region before 1600]. *Izvestiya Kurskogo Gubernskogo Obshchestva Krayevedeniya: Organ Soveta Obshchestva* [News of the Kursk Provincial Society of Regional Studies: Organ of the Council of the Society]. Kursk: Izdaniye Kurskogo gubernskogo Obshchestva Krayevedeniya, 1927. No 5. Pp.75. (rus)
5. Chernikov S.V. Dvoryanskiye imeniya Tsentral'no-Chernozomnogo regiona Rossii v pervoy polovine XVIII veka [Noble estates of the Central Black Earth region of Russia in the first half of the XVIII century]. Ryazan: Chastnyy izdatel' P.A. Tribunskiy, 2003. 348 p. (rus)
6. Plokhinskiy M. Getman Mazepa v roli velikorusskogo pomeshchika [Getman Mazepa in the role of the Great Russian landowner]. *Sbornik Khar'kovskogo istoriko-filologicheskogo obshchestva* [Collection of Kharkov Historical and Philological Society]. Kharkov: Tipografiya K. Schastni, 1892. 53 p. (rus)
7. Kholodova Ye.V. Poreformennyye usad'by Kurskoy gubernii 1861-1917 godov [Reformed manor Kursk province 1861-1917 years]. Orel: OOO "Novoye vre-mya". 392 p. (rus)
8. RGVIA (Rossiyskiy gosudarstvennyy Voenno-istoricheskiy arkhiv) F.VUA. «Topograficheskoye opisaniye Kurskogo namestnichestva po minuvshy 3-y i nyneshney 4-y revizii, sochineno tshchaniyem seya pravitelem gospodinom Zubovym v 1784-m godu». D.18800. CH.1-15. [RSMHA (Russian State Military Historical Archive) F.VUA. "The topographical description of the Kursk governorship of the past 3rd and current 4th revision was composed by the ruler's sowing by the governor, state-runner Zubov, in 1784." P. 1888. Part 1-15.] (rus)

9. Shchekatov A.M. Slovar' geograficheskoy Rossiyskoy gosudarstva. Ch. 3 [Geographical dictionary of the Russian state. Part 3]: Kiev - Moscow. Moscow: Univ. tip. u Lyubiy, Gariya i Popova, 1804. [2] p., 1238 column. (rus)
10. RGVIA. F.VUA. D.18801. Opisaniye Kurskogo namestnichestva voobshche i porozn' vsyakogo goroda i uyezda, s planami goroda i kartami uyezda, sochinonnoye v 1775 godu kurskim gubernskim zemlemerom i poruchikom Ivanom Bashilovym. L.1-173 ob. [RSMHA. F.VUA. D.18801. A description of the Kursk governorship in general and separately of every city and county, with city plans and maps of the county, composed in 1775 by the Kursk provincial surveyor and lieutenant Ivan Bashilov. L.1-173] (rus)
11. Zyablovskiy Ye. Zemleopisaniye Rossiyskoy Imperii dlya vsekh sostoyaniy, Sankt-Peterburgskogo Pedagogicheskogo Instituta Ordinarnogo Professora Yevdokima Zyablovskogo [Land descriptions of the Russian Empire for all states, St. Petersburg Pedagogical Institute of Ordinary Professor Evdokim Zyablovsky]. Saint Peterburg.: Tip. F. Drekhslera, 1810. CH.V. 509 p. (rus)
12. Yurevich P. Agronomicheskiye puteshestviya po Rossii. Sel'skokhozyaystvennyye nablyudeniya po doroge iz Korennoy v Khar'kov [Agronomic travels in Russia. Agricultural observations on the road from Root to Kharkov] *Zhurnal Ministerstva Gosudarstvennykh Imushchestv*. 1852. CH. XLIV. No 7. Pp. 89-90, 93. (rus)
13. Shapovalov V.A. Dvoryanstvo Tsentral'no-Chernozomnogo regiona Rossii v poreformennyy period [The nobility of the Central Black Earth region of Russia in the post-reform period]. Moscow-Belgorod: BelGU, 2002. 252 p.
14. Evolyutsiya slosloynnoy struktury obshchestva na primere Tsentral'nogo Chernozem'ya v poreformennyy period (na primere Kurskoy gubernii) [The evolution of the estate structure of society on the example of the Central Black Soil Region in the post-reform period (on the example of the Kursk Governorate)]. Edited by V.A. Shapovalov. Belgorod: Publishing BelGU, 2005. 428 p. (rus)
15. Trudy Kurskogo Gubernskogo Statisticheskogo Komiteta [Proceedings of the Kursk Provincial Statistical Committee]. Kursk: Tip. Gub. Pravleniya, 1863. V.I. 325 p. (rus)
16. Rossiya. Polnoye geograficheskoye opisaniye nashego Otechestva. Nastol'naya i dorozhnaya kniga dlya russkikh lyudey. Srednerusskaya chernozomnaya oblast' [Russia. Full geographical description of our Fatherland. Desktop and road book for Russian people. Central Russian Chernozem Region]. Edited by V.P. Semonov. Saint Peterburg: Publishing A.F. Devriyena, 1902. Vol. 2. 716 p. (rus)

Kholodova Elena Vasilievna

Research Institute of Theory and History of Architecture and Urban Planning (NIITAG) Branch of "TSNIIP of the Ministry of construction of Russia", Moscow, Russia,

candidate of architecture, member of the Union of architects of Russia, Advisor of RAACS; leading researcher, research Institute of theory and history of architecture and urban planning (NIITAG) branch of "tsniip of the Ministry of construction of Russia" (Moscow); expert in carrying out state historical and cultural expertise, lives and works in Kursk.

E-mail: tora-9@yandex.ru

УДК 614.8.086.5

БАКАЕВА Н.В., АЛЕКСАШИНА В.В., ВЕРЕХ-БЕЛОУСОВА Е.И.

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ В КАЧЕСТВЕ СЫРЬЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО РАДИАЦИОННЫМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В работе выполнена оценка по радиационным показателям перспектив использования отвальных пород угольных шахт Донбасса в строительном производстве. По результатам гамма-спектрометрического анализа определена удельная эффективная активность естественных радионуклидов в породных отвалах пяти угольных предприятий Луганщины. Показано, что отрабатанная отвальная порода по радиационным характеристикам может без ограничений использоваться в жилищном строительстве. Описана методика определения в лабораторных условиях коэффициента эманирования радона породами и материалами, позволяющая достаточно точно оценить скорость поступления радона в помещение из материалов ограждающих конструкций еще на стадии проектирования здания.

Ключевые слова: террикон, отвальная порода, уран, радионуклиды, радон, строительные материалы, удельная эффективная активность

Одной из основных экологических проблем промышленности является проблема накопления и утилизации отходов, особенно актуальная для угледобывающих регионов Донбасса. Добыча угля на территории Донбасса осуществляется с полным обрушением кровли углесодержащей породы, что приводит к «взрыхлению» горной породы и увеличению ее объема [1]. Поднятая на поверхность порода отсыпается в породные отвалы и терриконы, которых только в Луганщине насчитывается около 556. Эти отвалы занимают площадь 49 000 га, а объем складированной породы составляет приблизительно 69 млн. м³ [2].

На каждый миллион тонн добытого угля на складирование отходов отчуждается и разрушается 414 га земельных угодий [3]. Экологическая опасность породных отвалов и терриконов заключается в их горении, развитии на их поверхности эрозионных процессов, приводящих к миграции тяжелых металлов на прилегающие территории, и к другим негативным явлениям. С середины XX века в мире проблеме переработке и вопросам утилизации отходов добычи угля уделялось большое внимание. Среди отечественных исследователей можно выделить В.Н. Бурмистрова, Ю.В. Иткина, В.М. Ратынского, В.Р. Клер, М.Я. Шпирта, Б.Ф. Нифантова, Л. Г. Зубову и др.; в зарубежных странах решением данного вопроса занимаются D. Leinenger, E. Raask, A.K.M. Rainbow, I. Twardowska и другие ученые.

Современные исследователи в большинстве случаев предлагают отходы добычи и обогащения угля использовать для производства строительных материалов [4-6]. Однако не каждый природный материал может быть использован в строительном производстве, поскольку нормами радиационной безопасности введены ограничения на содержание радионуклидов в исходном сырье. По величине удельной активности сырье для производства строительных материалов разделено на 4 класса [10]:

- I класс ($A_{эфф} < 370$ Бк/кг) – материалы, используемые в строящихся и реконструируемых жилых и общественных зданиях;
- II класс ($A_{эфф} < 740$ Бк/кг) – материалы, используемые в дорожном строительстве в пределах территории населенных пунктов и зон перспективной застройки, а также при возведении производственных сооружений (II класс);

- III класс ($A_{эфф} < 1\,500$ Бк/кг) – материалы, используемые в дорожном строительстве вне населенных пунктов;
- IV класс ($1500 < A_{эфф} < 4\,000$ Бк/кг) – вопрос об использовании материалов решается в каждом случае отдельно по согласованию с федеральным органом Госсанэпиднадзора. При $A_{эфф} > 4\,000$ Бк/кг материалы не должны использоваться в строительстве.

Удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$ в сырье и материалах определяется по формуле:

$$A_{эфф} = A_{Ra} + 1,3A_{Th} + 0,09A_K, \quad (1)$$

где A_{Ra} , A_{Th} и A_K – удельные активности радия-226, тория-232 и калия-40, соответственно, Бк/кг.

Угли Донбасса и вмещающие угольные породы содержат уран. Наиболее богаты им породы, содержащие серу в виде пирита. При изучении состава природных радионуклидов в работе [7] выявлены ^{40}K и ^{226}Ra . Наличие указанных радионуклидов объясняется тем, что при выветривании сульфидсодержащих пород (пирита), которое сопровождается повышением температуры, серная кислота, образующаяся при окислении пирита, переводит первичные урановые минералы в подвижную форму (растворы). По данным работы [8], экспозиционная доза гамма-излучений отвальной породы колеблется от 17 до 33 мкР/ч, плотность потока бета-частиц – от 334 до 501 $1/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$, удельная активность – от 2 600 до 3 7000 Бк/кг.

Кроме естественных радионуклидов в природных материалах возможно присутствие долгоживущего техногенного радионуклида цезия-137 (период полураспада $T_{1/2} = 30$ лет), попавшего в Биосферу в результате аварии на Чернобыльской АЭС и с выбросами предприятий ядерно-топливного цикла. Неограниченное использование твердых материалов допускается при удельной активности в них ^{137}Cs не более 100 Бк/кг [11].

На наш взгляд, одним из наиболее доступных путей решения экологической проблемы угольных отвалов является их использование в качестве сырья в строительном производстве. Целью работы являлась оценка по радиационным показателям принципиальной возможности использования отвалов угольных шахт Донбасса в жилищном строительстве.

В рамках исследования был произведен отбор проб отвальной породы пяти угольных предприятий Донбасса: шахты «Черкасская» (г. Зимогорье), шахты «Машенская» (г. Лутугино), шахты «Луганская» (г. Луганск), шахты «Максимовская» (г. Стаханов) и шахты имени Ильича (г. Стаханов).

Согласно методике апробирования породных отвалов, изучается только внешний слой отвала. Террикон (отвал) разбивается на зоны, из которых отбирается первичная проба, состоящая из порционных проб. В зависимости от площади поверхности зоны, число порционных проб изменяется от 3 до 5. Разбивка терриконов на зоны осуществляется от его вершины к основанию. Расстояние между зонами по вертикали составляет 4 м для конического террикона и 1 м – для плоского отвала. Нижняя зона глыбового (более 1000 мм) и крупновалунного (500-1000 мм) материала опробованию не подлежит [12].

Из отвалов шахты Черкасская, находящихся в г. Зимогорье, были отобраны две пробы: перегоревшая порода, находящаяся в отвале более 30 лет, и углистый аргиллит, который в ряде стран широко используется в производстве строительных материалов.

Измерение удельной эффективной активности $A_{эфф}$ отобранных образцов выполнялось в лаборатории радиационной безопасности в строительстве НИИ Строительной физики РА-АСН на стационарной гамма-спектрометрической установке СГС-200М с заявленной погрешностью не более 30%. Из образцов каждого отвала (террикона) формировались три пробы, которые помещались в герметичные цилиндрические емкости объемом 0,15 дм^3 . Перед измерением каждая проба взвешивалась с точностью до 0,1 г. Обработка спектров производилась программным комплексом «Прогресс» с использованием алгоритмов, утвержденных Госстандартом РФ. Результаты измерений, усредненные по трем пробам, представлены в табл. 1.

Удельная активность техногенного цезия ^{137}Cs оказалась крайне мала и не выходила за пределы статистической погрешности измерений, что можно объяснить относительной удаленностью территорий от предприятий топливно-ядерного цикла и отсутствием на территории Луганщины следов постчернобыльского радиоактивного загрязнения.

Таблица 1 – Результаты гамма-спектрометрического исследования образцов отвальной породы угольных предприятий

№ п/п	Место отбора пробы	$A_{\text{Ra-226}}$, Бк/кг	$A_{\text{Th-232}}$, Бк/кг	$A_{\text{K-40}}$, Бк/кг	$A_{\text{Cs-137}}$, Бк/кг	$A_{\text{эфф}}$, Бк/кг
1	Перегоревший отвал шахты «Черкасская» (г. Зимогорье)	44,4	46,7	528,8	0,7	152,7
2	Аргиллит из отвала шахты «Черкасская» (г. Зимогорье)	56,1	68,3	813	0,5	218,1
3	Отвал шахты «Мащенская»	9,3	3,3	13,5	0,9	14,8
4	Отвал шахты «Луганская»	51,2	22,7	41,6	3,0	84,5
5	Перегоревший отвал шахты «Максимовская» (г. Стаханов)	29,7	29,2	306,7	0,9	95,3
6	Отвал шахты «им. Ильича» (г. Стаханов)	44,8	43,9	395,1	1,5	137,4

Исследования показали, что все отвальные породы могут без ограничения использоваться при производстве материалов для жилищного строительства, поскольку величина их удельной эффективной активности не превышает 370 Бк/кг. Годовая эффективная эквивалентная доза внешнего облучения определяется по формуле [13]:

$$H_{\text{внеш}} = 4,74 \cdot A_{\text{эфф}}, \quad (2)$$

поэтому при изготовлении ограждающих конструкций из исследуемых пород она будет находиться в интервале

$$H_{\text{внеш}} = 4,74 \cdot (14,8 \dots 218,1) = (70,2 \dots 1034) \text{ мкЗв/год} = (0,07 \dots 1,03) \text{ мЗв/год},$$

что является приемлемым уровнем облучения.

Показателем внутреннего облучения человека является величина среднегодовой эквивалентной равновесной объемной активности дочерних продуктов распада (ДПР) радона $\text{ЭРОА}_{\text{ср}}$ в воздухе помещения. В РФ ее предельное допустимое значение для строящихся и реконструируемых зданий составляет 100 Бк/м³. И хотя установлено, что менее 15% радона поступает в воздух помещений из материалов ограждающих конструкций [14], на наш взгляд необходим контроль параметров, определяющих интенсивность данного поступления. Известны случаи, когда использование пород с высокой удельной активностью радия в качестве заполнителя при производстве бетона приводило к аномально высоким уровням радона в помещениях [15].

Скорость поступления радона из материалов ограждающих конструкций в воздух помещения принято определять по формуле:

$$q_{\text{опр}} = A_{\text{Ra}} \cdot \rho \cdot k_{\text{эм}} \cdot \sqrt{\frac{\lambda D_e}{\varepsilon}} \tanh\left(\frac{h}{2} \cdot \sqrt{\frac{\lambda \varepsilon}{D_e}}\right), \quad (3)$$

где ρ – плотность материала, кг/м³; D_e – коэффициент диффузии радона в материале, м²/с; $k_{\text{эм}}$ – коэффициент эманирования радона материалом; h – толщина слоя материала, м; ε – пористость материала, λ – постоянная распада радона, с⁻¹.

Согласно (3) количество радона, выделяющегося из ограждающих конструкций, определяется не только содержанием в них радия. Не весь радон, образовавшийся при распаде ^{226}Ra , способен перейти в воздух помещения. Коэффициент эманирования $k_{\text{эм}}$ показывает, ка-

кая часть образовавшегося радона способна покинуть массив ограждающей конструкции. Данная величина достаточно вариабельна и зависит от целого ряда физических свойств материала, поэтому определить ее можно только экспериментально.

Коэффициент эманирования радона в данной работе также определялся методом гамма-спектрометрии. После начальных измерений, результаты которых представлены в табл. 1, пробы герметизировались в измерительных емкостях на 40 суток, а через каждые 5 суток производилось повторное измерение удельной эффективной активности радия, увеличивавшейся за счет частичного наступления радиоактивного равновесия между радоном и его ДПР. Прекращение роста удельной активности радия соответствовало установлению радиоактивного равновесия в пробе (рис. 1).

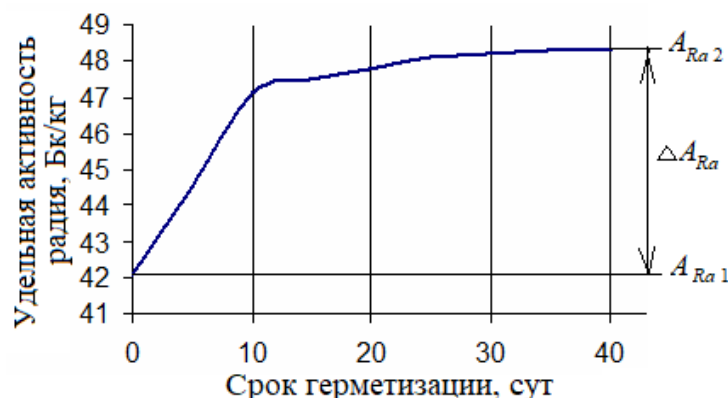


Рисунок 1 – Определение коэффициента эманирования угольного аргиллита

После установления равновесия коэффициент эманирования радона из отвальных материалов определялся по формуле

$$k_{эм} = \frac{\Delta A_{Ra}}{A_{Ra2}} = \frac{A_{Ra2} - A_{Ra1}}{A_{Ra2}}, \quad (4)$$

где A_{Ra2} – удельная активность радия, измеренная для герметизированной пробы после установления радиоактивного равновесия, Бк/кг; A_{Ra1} – удельная активность радия, измеренная в аэрированной пробе, Бк/кг.

Результаты измерений равновесной активности пород и расчета коэффициента эманирования радона по формуле (4), представлены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты расчета коэффициента эманирования радона отвальными породами

№ пробы	1	2	3	4	5	6
Начальная удельная активность радия A_{Ra1} , Бк/кг	42,1	56,1	9,3	51,2	29,7	44,8
Равновесная удельная активность радия A_{Ra2} , Бк/кг	48,3	60,0	10,1	57,7	34,6	53,0
Коэффициент эманирования радона $k_{эм}$	0,13	0,07	0,08	0,11	0,14	0,15

Результаты расчета $k_{эм}$ свидетельствуют об умеренной эманлирующей способности пород угольных шахт Луганщины, что также подтверждает перспективность их использования в качестве сырья при производстве строительных материалов.

Представленные выше исследования позволяют сделать следующие **выводы**:

1. Складируемая отвальная порода угольных шахт является сложной системой, в которой протекают процессы химического и биохимического превращения веществ, приводящие к миграции терригенных тяжелых металлов на прилегающие территории, развитию на поверхности отвалов эрозионных процессов, ряду других негативных явлений и процессов.

2. Наиболее рациональный, по нашему мнению, путь решения экологической проблемы складирования отвальной породы и снижения ее негативного воздействия на окружающую среду – это использование породы в производстве строительных материалов.

3. Проведенный гамма-спектрометрический анализ образцов пород показал, что по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов они относятся к I классу материалов, то есть без ограничений могут использоваться в жилищном строительстве для производства кирпича, керамзита и другой продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зборщик М.П., Осокин В.В. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений. Донецк: ДонГТУ, 1996. 178 с.
2. Луганщина – край нашей любви и надежды. По материалам годового отчета состояния окружающей среды в Луганской области в 2011 году / Под ред. А.О. Арапова. Луганск, 2012. 187 с.
3. Бурлака В.И. Шахты и экология // Топливо-энергетический комплекс. 2006. № 7. С. 11-13.
4. Shpirt M.Ya., Rainbow A.K.M. Ecological problems caused by mining and processing with suggestions for remediation. Millpress, 2006. 162 p.
5. Баталин Б.С., Белозерова Т.А., Гайдай М.Ф. Строительная керамика из терриконигов Кизеловского угольного бассейна // Стекло и керамика. 2014. № 3. С. 8-10.
6. Уваров Д.Р., Биломеря М.И. Исследование возможностей производства глинозема из техногенных материалов // Сб. матер. Междунаrod. конф. «Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов». Том 1. Донецк: Изд-во ДонНТУ, 2005. С.95-96.
7. Зубова Л.Г., Воробьев С.Г., Гречка В.А., Зубов А.А. Радиоактивность отвалов угольных шахт Донбасса // Вестник Восточноукраинского нац. ун-та им. В. Даля. 2014. №6 (213). Ч.2. С. 166-172.
8. Зубова Л.Г., Зубов А.Р. Оценка радиоактивности породных отвалов угольных шахт ПАО «Лисичанскуголь» // Уголь Украины. 2016. № 4-5. С. 59-66.
9. Назиров Р.А., Пересыпкин Е.В., Тарасов И.В., Верещагин В.И. Снижение естественной радиоактивности цементных бетонов // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2007. № 1. С. 45-49.
10. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): (Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.2523-09): зарегистрирован 14 августа 2009 г. Регистрационный № 14534. М.: Минюст России, 2009. 225 с.
11. Основные санитарные правила обеспечения радиационной безопасности (ОСПОРБ-99/2010): (Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1. 2612-10): зарегистрирован 11 августа 2010 г. Регистрационный № 18115. М.: Минюст России, 2010. 98 с.
12. Шпирт М.Я., Рубан В.А. и др. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. М: Недра, 1990. 223 с.
13. Крисюк Э.М. Радиационный фон помещений. М.: Энергоатомиздат, 1989. 120 с.
14. Bakaeva N.V., Kalaydo A.V. Prediction of radon concentrations in above-ground apartments // Journal of Applied Engineering Science. 2017. Vol. 15. No 3. Pp. 280-285. doi: 10.5937/jaes15-14656.
15. Swedjemark G.A. Radon in dwellings in Sweden: Report SSI: 1978-13 / G.A. Swedjemark. – Stockholm, 1978. 112 p.

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Россия,
Доктор технических наук, профессор
E-mail: natbak@mail.ru

Алексашина Виктория Васильевна

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный институт», г. Москва, Россия,
Доктор архитектуры, профессор

Верех-Белюсова Екатерина Иосифовна

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский национальный университет имени Тараса Шевченко», г. Луганск, Украина,

И.о. заведующего кафедрой БЖД, охраны труда и гражданской защиты

E-mail: kate3152@yandex.ru

BAKAEVA N.V., ALEKSASHINA V.V., VEREKH-BELOUSOVA E.I.

EVALUATION THE PROSPECTS OF MINE DUMP USING IN THE BUILDING MATERIALS PRODUCTION BY THE RADIATION FACTORS

Evaluation the prospects of Donbas's coal mines dumps using in the building materials production by the radiation factors was performed in the paper. The work has carried out an assessment of the prospects for the use of dump rocks in the construction industry from radiation indicators. The specific effective activity of natural radionuclides in the five coal mines waste dumps of Luhansk region was determined by the gamma-spectrometric analysis. Was shown the waste rock can be used without restrictions in residential construction with such radiation characteristics. The laboratory method of determination the radon emanation coefficient in the rocks and materials was described. It allows estimating accurately the radon entry rate into the premises from walling materials at the design stage of a construction.

Keywords: waste heap, waste rock, uranium, radionuclides, radon, building materials, specific effective activity

REFERENCES

1. Zborshchik M.P., Osokin V.V. Predotvrashcheniye ekologicheskikh vrednykh proyavleniy v porodakh ugol'nykh mestorozhdeniy [Prevention of environmentally harmful manifestations in the rocks of coal deposits]. Ukraine, Donetsk: DonGTU, 1996. 178 p. (rus)
2. Luganshchina – kray nashey lyubvi i nadezhdy. Po materialam godovogo otcheta sostoyaniya okruzhayushchey sredy v Luganskoy oblasti v 2011 godu [Lugansk region - the edge of our love and hope. Based on the materials of the annual report of the state of the environment in the Luhansk region in 2011]. Edited by A.O. Arapova. Ukraine, Lugansk, 2012. 187 p. (rus)
3. Burlaka V.I. Shakhty i ekologiya [Mines and ecology]. *Toplivno-energeticheskiiy kompleks*. 2006. No 7. Pp. 11-13. (rus)
4. Shpirt M.Ya., Rainbow A.K.M. Ecological problems caused by mining and processing with suggestions for remediation. Millpress, 2006. 162 p.
5. Batalin B.S., Belozero T.A., Gayday M.F. Stroitel'naya keramika iz terrikonikov Kizelovskogo ugol'nogo basseyana [Building ceramics from the heaps of the Kizel coal basin]. *Steklo i keramika*. 2014. No 3. Pp. 8-10. (rus)
6. Uvarov D.R., Bilomerya M.I. Issledovaniye vozmozhnostey proizvodstva glinozema iz tekhnogennykh materialov [Study of the production of alumina from technogenic materials]. Sb. mater. Mezhdunarod. konf. «Okhrana okruzhayushchey sredy i ratsional'noye ispol'zovaniye prirodnykh resursov» [Proc. mater International conf. "Environmental protection and rational use of natural resources"]. Ukraine, Donetsk: Publishing DonNTU. 2005. Vol. 1. Pp.95-96. (rus)
7. Zubova L.G., Vorob'yev S.G., Grechka V.A., Zubov A.A. Radoaktivnost' otvalov ugol'nykh shakht Donbassa [Radioactivity dumps coal mines of Donbass]. *Vestnik Vostochnoukrainskogo nats. un-ta im. V. Dal'ya*. 2014. No 6 (213). Ch.2. Pp. 166-172. (rus)
8. Zubova L.G., Zubov A.R. Otsenka radioaktivnosti porodnykh otvalov ugol'nykh shakht PAO «Lisichanskugol'» [Radioactivity assessment of waste dumps of coal mines of PJSC "Lisichan-Skugol"]. *Ugol' Ukrainy*. 2016. No 4-5. Pp. 59-66. (rus)
9. Nazirov R.A., Peresypkin Ye.V., Tarasov I.V., Vereshchagin V.I. Snizheniye yestestvennoy radioaktivno-sti tsementnykh betonov [Reducing the natural radioactivity of cement concrete]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo*. 2007. No 1. Pp. 45-49. (rus)
10. Normy radiatsionnoy bezopasnosti (NRB-99/2009): (Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost' SP 2.6.1.2523-09) [Radiation safety standards (NRB-99/2009): (Ionizing radiation, radiation safety SP

2.6.1.2523-09)): registered on August 14, 2009. Registration No. 14534. Moscow: Ministry of Justice of Russia, 2009. 225 p. (rus)

11. Osnovnyye sanitarnyye pravila obespecheniya radiatsionnoy bezopasnosti (OSPORB-99/2010): (Ioniziruyushcheye izlucheniye, radiatsionnaya bezopasnost' SP 2.6.1. 2612-10) [Basic Sanitary Rules for Radiation Safety (OSPORB-99/2010): (Ionizing radiation, radiation safety of joint venture 2.6.1. 2612-10)]: registered on August 11, 2010. Registration No. 18115. Moscow: Ministry of Justice Of Russia, 2010. 98 p. (rus)

12. Shpirt M.Ya., Ruban V.A. and etc. Ratsional'noye ispol'zovaniye otkhodov dobychi i obogashcheniya ugley [Rational use of coal mining and enrichment wastes]. Moscow: Nedra, 1990. 223 p. (rus)

13. Krisyuk E.M. Radiatsionnyy fon pomeshcheniy [Radiation background of the premises]. Moscow: Energoatomizdat, 1989. 120 p. (rus)

14. Bakaeva N.V., Kalaydo A.V. Prediction of radon concentrations in above-ground apartments. *Journal of Applied Engineering Science*. 2017. Vol. 15. No 3. Pp. 280-285. doi: 10.5937/jaes15-14656.

15. Swedjemark G.A. Radon in dwellings in Sweden: Report SSI: 1978-13 / G.A. Swedjemark. – Stockholm, 1978. 112 p.

Bakaeva Natalia V.

Southwest State University, Kursk, Russia,
Doctor Tech. Sci., professor,
E-mail: natbak@mail.ru

Alexashina Victoria V.

Moscow State University Of Civil Engineering (National Research University), Moscow, Russia,
Doctor in Architecture, professor

Verekh-Belousova Ekaterina I.

Luhansk Taras Shevchenko National University, Luhansk, Ukraine,
The head of the department of BC, labour protection and civil defense
E-mail: kate3152@yandex.ru

УДК 691.175.2

БАРАХТЕНКО В.В., БУРДОНОВ А.Е., ЗЕЛИНСКАЯ Е.В.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ПОЛИВИНИЛХЛОРИДНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

В статье представлены результаты исследований по разработке новых минеральных полимерных композиционных материалов. При производстве композитов экструзионным способом используется зола уноса от сжигания каменного угля на теплоэлектростанциях и алюмосиликатные зольные микросферы в качестве наполнителя и поливинилхлорида в качестве связующего. Проведены исследования свойств золы уноса с точки зрения ее применимости в качестве наполнителя. Определена форма частиц, величина удельной поверхности, распределение частиц по размерам, плотность упаковки частиц. Выполнен анализ химического состава и удельной эффективной активности естественных радионуклидов наполнителя. Представлены результаты исследований показателей прочности на сжатие, разрыв и изгиб, ударной вязкости, твердости разработанных композиционных материалов. Проведены испытания пожарной безопасности композитов, определены группа горючести, группа распространения пламени, коэффициент дымообразования, группа воспламеняемости, показатель токсичности продуктов горения, температура воспламенения, температура самовоспламенения материалов. Коммерческое производство полученных полимерных композитов должно иметь значительное влияние на экологическую безопасность Байкальского региона, поскольку оно будет потреблять значительные объемы промышленных отходов.

Ключевые слова: поливинилхлорид, композиционные материалы, промышленные отходы, зола уноса, экструзия, физико-механические свойства

Среди современных тенденций развития индустрии строительных конструкционных и отделочных материалов перспективной является создание новых полимерных композиций с применением в качестве наполнителей тонкодисперсного техногенного сырья различных отраслей промышленности. Интерес к применению наполнителей в полимерных композициях обусловлен целями уменьшения потребности в полимерах в условиях их высокой стоимости и, как следствие, снижения цены готовых конкурентоспособных строительных материалов. Использование техногенного сырья, имеющего необходимые характеристики, может решить несколько задач, возникающих при производстве и эксплуатации полимерных строительных композитов.

На территории Иркутской области расположен ряд промышленных предприятий, связанных с добычей и переработкой полезных ископаемых. Это горнодобывающие предприятия, обогатительные фабрики, заводы по производству алюминия и кремния, а также предприятия теплоэнергетики, деревообрабатывающие и нефтегазовой отрасли. В 2016 году в области образовалось более 130,5 млн. тонн отходов, из которых свыше 16 млн. тонн не подлежат использованию и переработке, а направляются для хранения и захоронения [1], поэтому возникает еще одна проблема: изъятие земель для размещения отходов.

Одним из основных источников образования промышленных отходов являются предприятия топливно-энергетического комплекса. В результате деятельности теплоэлектростанций Иркутской области в 2016 году образовалось 1300 тыс. тонн золошлаковых смесей (ЗШС), утилизировано около 600 тыс. м³ [1], при этом значительная часть ЗШС отправляется для захоронения в золошлакоотвалы.

Золошлаковые смеси могут использоваться в качестве добавок к бетонам, глине и кирпичам; подготовки оснований автомобильных дорог; для ремонта дорог, аэродромов, мостов; при устройстве полов, стойких к кислоте, в химических цехах, животноводческих комплексах, металлургических производствах. Кроме того, сухая зола уноса, отобранная с электрофильтров, может применяться в качестве эффективного наполнителя композиционных материалов

на основе термопластичных и термореактивных полимеров [2]. Из композитов с термопластичной матрицей, наполненных золой уноса можно изготавливать строительные материалы, детали автомобилей, железнодорожные шпалы, товары широкого потребления. Материалы на основе реактопластов можно применять как теплоизоляционные изделия для промышленных предприятий в виде блоков, плит и скорлуп. Одним из наиболее существенных преимуществ этих материалов является их огнестойкость, в том числе благодаря высокому наполнению золой уноса.

В данной работе представлен анализ характеристик золы уноса ТЭЦ-9 ПАО «Иркутскэнерго», используемой в качестве функционального наполнителя поливинилхлоридных композиций, произведенных методом экструзии и оценка физико-механических и эксплуатационных свойств полученных композитов.

Зола уноса, образующаяся в результате сжигания твердого топлива на электростанциях Иркутской области, является тонкодисперсным материалом. Микрофотография золы уноса представлена и на рисунке 1.

Частицы золы имеют в основном сферическую форму, но встречаются также округлые частицы неправильной формы различных размеров.

Изучение распределения частиц золы уноса по размерам проводилось на лазерном гранулометре *Fritsch Analysette 22 MicroTec Plus* фирмы *Fritsch* производства Германии в научно-исследовательской лаборатории физико-химических исследований металлургических процессов (ИРННТУ). В анализаторе используется принцип дифракции лазерного излучения на дисперсных образцах: при попадании на частицу порошка лазерный луч отклоняется на некоторый угол, зависящий от размера частицы. Далее рассеянный луч попадает на детектор. Измерение интенсивности излучения, попавшего на каждый элемент детектора, и последующая математическая обработка сигнала позволяют определить размер частиц образца и оценить их форму.

Анализ распределения частиц по размерам проводили по методике статического рассеяния лазерного излучения двумя лазерами и системой диспергирования в жидкой среде. Продолжительность диспергирования составляла 1 минуту на максимальной мощности ультразвукового воздействия. Значение коэффициента преломления составляло 1,90 (безводный гидроксокарбонат алюминия). Сканы зеленого лазера 100, сканы красного лазера 100. Диапазон измерения в опыте 0,08–2000 мкм. Результаты определения распределения частиц по размерам золы уноса ТЭЦ-9 г. Ангарска Иркутской области и алюмосиликатных зольных микросфер представлены на графиках, рисунок 2.

Исследуемая зола уноса ТЭЦ-9 имеет широкое распределение частиц по размерам в диапазоне от 0,45 до 100 мкм. Фракции с диапазоном размеров 8–15, 15–30 и 30–55 мкм содержатся в исследуемой пробе в наибольшем количестве (более 75 %). Фракции с размерами менее 8 мкм, а также свыше 55 мкм представлены в материале в значительно меньшем количестве, на их долю, в общем, приходится менее 25 %.

Таким образом, образцы исследуемых минеральных отходов имеют достаточно широкий диапазон распределения частиц по размерам, что соответствует важному условию применимости материалов в качестве наполнителей в полимерной композиции, т.е. имеют подходящий гранулометрический состав.

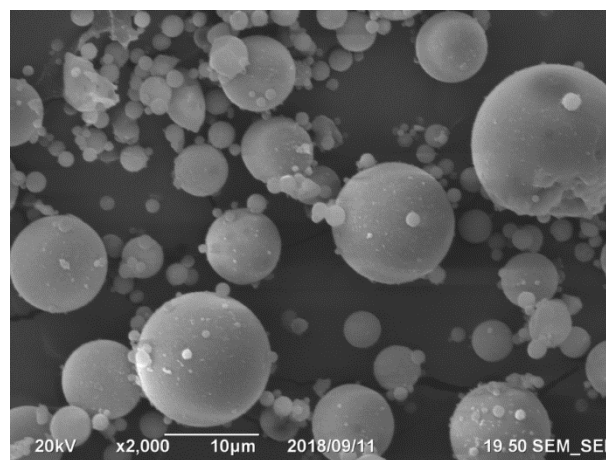


Рисунок 1 – Образец золы уноса под микроскопом

Результаты измерений

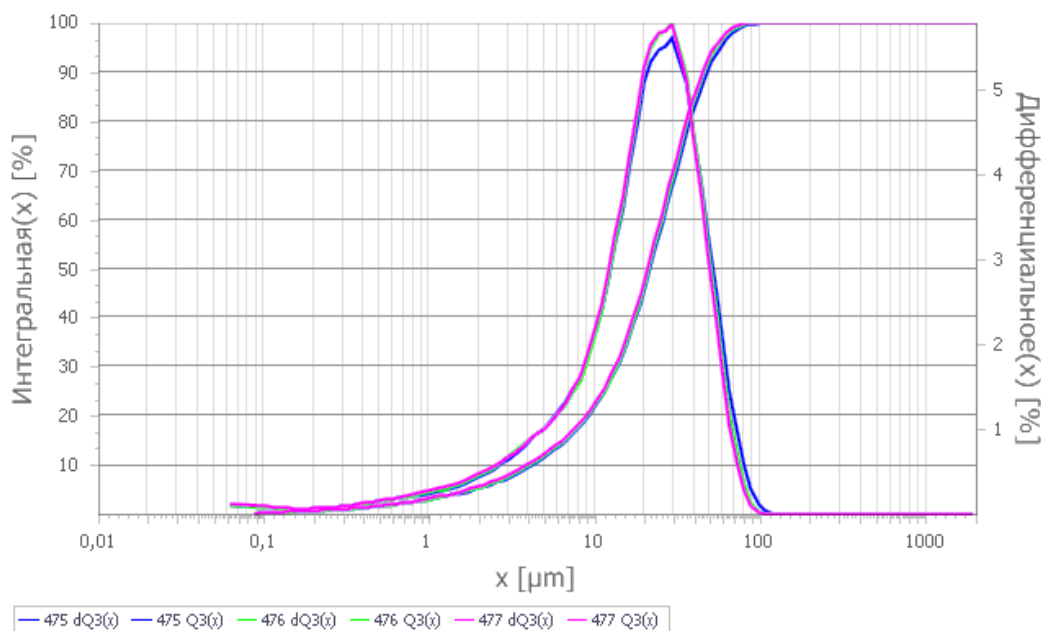


Рисунок 2 – Распределение частиц золы уноса по размерам

Выявлено, что исследуемые порошки тонодисперсных минеральных промышленных отходов имеют широкое распределение частиц по размерам, причем с содержанием как мелких, так и крупных фракций, следовательно, такой гранулометрический состав будет оказывать положительное влияние на реологические свойства, а именно снижать вязкость композиции. Исходя из того, что вязкость композиции является одним из решающих факторов при выборе наполнителя, особенно для методов экструзии и литья под давлением, выбранные наполнители удовлетворяют критерию распределения частиц по размерам.

Удельная поверхность – отношение суммарной поверхности частиц дисперсной фазы к их массе. Удельная поверхность обратно пропорциональна линейным размерам частиц и является важной технической характеристикой сыпучего материала, в ряде случаев определяющей возможность использования его в различных областях народного хозяйства. Величина этого параметра у дисперсного наполнителя зависит от формы и распределения частиц по размерам и может составлять от нескольких единиц до нескольких десятков квадратных метров на грамм [3].

Удельная поверхность исследуемых материалов определялась по формуле:

$$S_{\text{уд}} = \frac{K}{\rho} \left(\sum \frac{W}{X} \right) \quad (1)$$

где K – коэффициент пропорциональности, учитывающий форму частиц; ρ – истинная плотность, г/см³; W – массовая доля частиц данной фракции; X – среднее значение размера частиц соответствующей фракции (диаметр эквивалентной сферы).

Значения W и X принимали по результатам определения гранулометрического состава порошков методом дифракции лазерного излучения.

Расчётные удельные поверхности исследуемого дисперсного наполнителя представлены в таблице 1.

Упаковка частиц

Главным параметром для оценки плотности упаковки частиц дисперсных наполнителей является максимальная объемная доля дисперсной фазы, находящейся в заданном объеме φ_m .

Максимальная объемная доля наполнителей определялась как отношение насыпной плотности к истинной плотности.

Значения параметра φ_m в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели дисперсных наполнителей

Показатель	Значение
Отношение массовой доли частиц фракции к среднему значению размера частиц данной фракции, $W/X \cdot 10^{-6}$, м ⁻¹	0,197
Среднемассовый диаметр, $D_w \cdot 10^{-6}$, м	5,067
Плотность насыпная, $\rho_{нас}$, кг/м ³	710
Плотность истинная, $\rho_{ист}$, кг/м ³	2000
Коэффициент формы, K	6
Удельная поверхность, $S_{уд}$, м ² /кг	592,108
Расчетная предельная упаковка частиц наполнителей, φ_m	0,256
Предельная упаковка частиц наполнителей по плотности, $\varphi_m = \rho_{нас} / \rho_{ист}$	0,355

Плотность упаковки частиц характеризуется максимальной объемной долей дисперсной фазы (φ_m), это отношение насыпной плотности к истинной плотности наполнителя.

Для исследуемого наполнителя максимальная объемная доля дисперсной фазы равна 0,355.

Для известных наполнителей максимальная объемная доля дисперсной фазы варьируется от 0,08 до 0,74. Например, данный параметр для каолина составляет 0,36–0,56; для осажденного мела – 0,37–0,64; для слюды – 0,38–0,45 [4].

Максимальная объемная доля дисперсной фазы частиц исследуемой золы уноса имеет достаточно высокие значения, сопоставимые с показателями известных наполнителей, используемых в полимерных композициях. Кроме того, при таких показателях φ_m и широком распределении частиц по размерам вязкость композиции будет низкой, что положительно скажется на переработке материала. Следовательно, исследуемые золы соответствуют данному критерию [5, 6].

Использование золы от сжигания угля при производстве строительных материалов возможно в том случае, если качество ее, в первую очередь, содержание тяжелых металлов и радиационная безопасность будет удовлетворять нормативам. С этой целью был проведен анализ состава золы уноса.

Химический анализ зол (таблица 2) производится в соответствии с ГОСТ 10538–87. Настоящий стандарт распространяется на бурые и каменные угли, антрациты, горючие сланцы, торф и кокс и устанавливает методы определения в золе топлива диоксида кремния (SiO_2), оксида железа (Fe_2O_3), оксида алюминия (Al_2O_3), оксида магния (MgO), оксида кальция (CaO), оксида калия (K_2O), оксида натрия (Na_2O), оксида фосфора (P_2O_5), диоксида титана (TiO_2), триоксида серы (SO_3), смешанного оксида марганца (Mn_3O_4).

Исследуемая зола относительно однородная, многокомпонентная. По составу наиболее близок к алюмосиликатам, вследствие высокого содержания оксидов кремния и алюминия до 80–90 %, из которых около 2/3 оксида кремния. Вместе с этим, зола уноса почти не имеет негоревших частиц, в которых, как правило, концентрируются вредные компоненты. Большинство известных наполнителей, применяющихся в полимерных композициях, не содержат большого количества компонентов, а представлены преимущественно одним из минералов: муллит, кварц, каолин, полевошпат, тальк, стекло и т.д. Золы состоят из кристаллической и аморфной фазы. Кристаллическая фаза содержит кварц, полевые шпаты, муллит и некоторые другие, аморфная фаза представлена в основном в виде стекла.

Таблица 2 – Химический состав золы уноса г. Ангарска Иркутской области

Элементный состав в расчете на оксиды	Содержание, %
Потери при прокаливании	1,5
SiO ₂	62,9
TiO ₂	0,6
Al ₂ O ₃	21,3
Fe ₂ O ₃	7,6
CaO	3,3
MgO	2,2
K ₂ O	1,2
Na ₂ O	0,2
SO ₃	0,7
CaO (свободный)	0,3

В Центральной аналитической лаборатории Байкальского филиала «Сосновгеология» АО «Урангео» был проведен спектральный анализ (методика (1.80) НСАМ №246-С.) некоторых зол Иркутской области. Исследования показали, что зола уноса г. Ангарска кроме макроэлементов содержит также не значительные количества микроэлементов или элементов-примесей (*Ni, Co, Cr, Pb, Sn, Zn, Mo, Zr, Ge, Cu, Ag, Zn, Be, Sc, Ga, La, Y, Ba, Sr, Li, B*). Эти элементы присутствуют в золах в более высоких концентрациях, чем в углях, вследствие концентрации при сжигании угля на ТЭЦ.

Следовательно, изучаемая зола уноса состоит из минералов, которые по отдельности могут применяться в качестве дисперсных наполнителей в полимерах. Следовательно, зола ТЭЦ-9 г. Ангарска Иркутской области ПАО «Иркутскэнерго» по химическому составу пригодна для использования в качестве наполнителя в полимерном композитном материале [7, 8].

Влажность – один важнейших показателей качества сырья для экструзионной переработки, литья под давлением, каландрования и других способов создания композитных материалов на основе термопластов.

Это связано с особенностями технологического процесса экструзии, используемого для производства строительных материалов. Повышенное содержание влаги приводит к: увеличению давления расплава за счет того, что присутствие влаги в условиях повышенной температуры в экструдере приводит к расширению объема расплава (исходной смеси); неравномерному смешиванию сырья, за счет наличия дополнительной фазы в расплаве (водной фазы) и адгезии воды с мелкодисперсными частицами сырья, что приводит к их слипанию; нарушению технологии смешения композиции вследствие снижения температуры смеси и увеличению времени достижения необходимой температуры в смесителе; нарушению режима течения материала внутри экструдера, вследствие изменения реологических характеристик расплава в присутствии повышенного содержания влаги в исходной смеси; переходу образующегося пара от избыточной влаги в расплав и далее в структуру материала, что приводит к его неоднородности; снижению прочностных характеристик, вследствие фазового перехода пар-вода при остывании расплава; снижению морозостойкости, вследствие присутствия дополнительной воды увеличению хрупкости, вследствие нарушения сплошности и структуры поверхности материала; ухудшению внешнего вида изделий вследствие нарушения текстурных характеристик [9].

Содержание влаги определяется весовым методом по разности массы исследуемой пробы до и после прокалывания.

Фактический показатель влажности золы уноса ТЭЦ г. Ангарска Иркутской области составляет 0,1–0,95 %. Алумосиликатные микросферы после их извлечения из влажной золы сушатся и имеют влажность при этом до 1 %.

Показатели влажности исследуемых минеральных наполнителей удовлетворяют требованиям, что благоприятно скажется на технологическом процессе экструзии и потребительских характеристиках (равномерность смешивания, отсутствие комкования, прочностные

свойства, однородность материала и т.д.), а также на экономических показателях при использовании сухой золы уноса.

Технические условия для строительных материалов все чаще одним из параметров их безопасности содержат показатель радиационного качества. Критерием для принятия решения о возможности применения строительных материалов и изделий служит показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов (ЕРН) по ГОСТ 30108–94 «Материалы и изделия строительные», определяемой по формуле.

Важно отметить, что кроме строительных материалов требование радиационно-экологической оценки введено в стандарты и на сырье для производства строительных материалов [10].

Исследования по определению удельной эффективной активности ЕРН золы уноса проводились в Центральной аналитической лаборатории БФ «Сосновгеология», г. Иркутск. Активность золы измерялась низкофоновой гамма-спектрометрической установкой на базе «Гамма-плюс» № 030 и блока детектирования – сцинти-блока на основе $NaO(Ti)$ № 03551 размером 195*199 мм с колодцем В75*100 мм. Все измерения проводились в соответствии с ГОСТ 30108–94 «Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклидов».

Проведенные исследования показали, что зола имеет показатель удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$ равный 253 Бк/кг. Полученный показатель радиационной безопасности золы уноса $A_{эфф}$ согласно санитарным правилам СП 2.6.1.798–99, ГОСТ 30108–94 и НРБ-99 не превышает нормативные 370 Бк/кг, поэтому относится к первому классу, что делает возможным ее использование в производстве композитных материалов. Первый класс радиационной безопасности позволяет использовать материалы в строительстве жилых и общественных зданий, а также всех видов строительства без ограничений.

Все исследуемые характеристики зол уноса и алюмосиликатных микросфер указывают на принципиальную возможность использования данных отходов для производства полимерных композитных материалов.

Для получения композита использовалось связующее – суспензионный поливинилхлорид марки СИ-64 производства АО «Саянскхимпласт», имеющий низкую константу Фикентчера для возможности высокого наполнения минеральными частицами, и представленные выше наполнители (золы уноса, алюмосиликатные микросферы. Для повышения термо- и светостабильности поливинилхлорида, улучшения его качественных характеристик и улучшения технологического процесса экструзии использовали аддитивы: термостабилизаторы, модификаторы перерабатываемости и удоропрочности, внешние и внутренние смазки, пигменты. Исследования проводились на экструзионной линии по производству поливинилхлоридных профилей (модель SJZ55/110YF300) на базе технопарка Иркутского национального исследовательского технического университета (ИРНИТУ).

Приготовление сухой смеси для экструзии осуществлялось в высокоскоростном двухстадийном турбомиксере, где и производится нагрев смеси за счет сил трения при турбосмешивании (при числе оборотов двигателя до 1200 об/мин). Температура горячего миксера составляла 115 °С, холодного – 40 °С, все компоненты (полимерное связующее, наполнитель, технологические аддитивы) при этом помещались в миксер одновременно. Далее смесь отстаивалась в течение суток.

При достижении указанной температуры (115 °С) при помощи нижнего пневмозатвора смесь передается в охлаждающий смеситель, где при скорости перемешивания 180 об/мин. охлаждается до 40 °С. Охлаждение происходит за счет циркуляции воды в рубашке смесителя с температурой 10–12 °С (давление воды 0,5 бар). Далее смесь подается в бункер для хранения и выдержки. В процессе эксперимента регулировались технологические параметры, а именно температуры различных зон экструдера, процесса с целью получения изделия надлежащего качества.

Всего подготовлено и экструдировано более 20 композиций с различным содержанием аддитивов и наполнителя. В результате отобраны композиты для исследований, рецептуры которых содержали необходимый состав технологических аддитивов и 40 % наполнителя. В хо-

де серии экспериментов были подобраны оптимальные параметры для получения полимерного композита различных рецептур.

Исследования механических свойств полученных композитных материалов

Физико-механические характеристики полученных материалов определялись на базе научно-исследовательской лаборатории испытания строительных материалов и конструкций ИРНИТУ (таблица 3). Эксперименты проводили на универсальной электромеханической испытательной машине «Instron® 5989».

Таблица 3 – Физико-механические характеристики наполненных композиционных материалов

Наполнитель	Содержание, % по массе	Среднее значение прочности на сжатие, МПа	Среднее значение прочности на разрыв, МПа	Среднее значение прочности на изгиб, МПа
Зола уноса	40	42,28	21,81	50,87

Результаты исследования показали, что наилучшие средние значения прочности на сжатие и прочности на разрыв имеют образцы, наполненные золой уноса и смесью золы уноса и микросфер с массовым соотношением 3 к 1, соответственно. Высокие показатели прочности объясняются наличием плотной упаковки частиц в композите и более сильным взаимодействием наполнителя и полимерного связующего вследствие высокого показателя удельной поверхности частиц золы.

Используемые в работе минеральные наполнители хоть и являются техногенными отходами, все же имеют стоимость при подготовке и использовании в промышленности. В данном случае, использование золы уноса является экономически выгодным, даже при незначительной потере физико-механических характеристик получаемых композитов.

Применение золы уноса, образующейся от сжигания угля на тепловых электростанциях, в качестве наполнителя улучшит физико-механические характеристики материала, снизит техногенную нагрузку на окружающую среду и удешевит получаемые композитные материалы.

Для более подробного изучения физико-механических характеристик композита, содержащего 40 % наполнителя (зола уноса), был выбран образец, полученный при оптимальных технологических параметрах.

Испытания физико-механических в Научно-исследовательском центре «Древесно-полимерные композиты» (НИЦ «ДПК», г. Москва) и пожаробезопасных свойств в ООО «ППО ПОЖЦЕНТР» (г. Москва) проводились с целью определения качественных показателей полученной террасной доски из разработанного композита. Результаты исследований приведены в таблице 4.

Произведенная экструзионным методом террасная доска из разработанного полимерного композитного материала обладает низкими значениями водопоглощения и разбухания по всем направлениям при вымачивании в воде за 24 часа, что характеризует ее высокую геометрическую стабильность. При этом, при кипячении образцов в течении 2-х часов наблюдается некоторая усадка по длине, что говорит о внутренних напряжениях в изделиях.

Материал террасной доски характеризуется высокой плотностью, свыше 1600 кг/м^3 . По данным испытательного центра значение этого показателя для доски из древесно-полимерного композита (ДПК) находится в диапазоне $1100\text{--}1300 \text{ кг/м}^3$, превышение не рекомендуется только из экономических соображений. Но при этом изделие обладает высокой твердостью и повышенными значениями показателя прочности при изгибе модельного образца – 52 МПа (при среднем не менее 25 МПа для ДПК). Разрушающая нагрузка конструкции – 5292 Н (при среднем не менее 2000 Н для ДПК). Композит достаточно пластичен при отрицательных температурах. Ударная вязкость по Шарпи – 10 кДж/м^2 .

Разработанный композит относится к строительным материалам и изделиям. Основным направлением его использования является облицовка фасадов домов, покрытие террито-

рии дачных участков, а также набережных и пирсов. Изменение физико-механических свойств при воздействии влаги и температур является в данном случае актуальным [11].

Таблица 4 – Технические характеристики террасной доски

Технические характеристики	Показатели	Среднее значение показателя	
Водостойкость при вымачивании в воде 24 часа при 20 ± 1 °С	Водопоглощение, %	0,2	
	Разбухание по длине, %	0,24	
	Разбухание по ширине, %	0,31	
	Разбухание по толщине, %	0,37	
Водостойкость при кипячении 2 часа	Водопоглощение, %	0,36	
	Усадка по длине, %	-1,1	
	Разбухание по ширине, %	0,62	
	Разбухание по толщине, %	0,62	
Физико-механические характеристики материала	Плотность, кг/м	1637	
	Твердость при вдавливании шарика, Н/мм ²	200	
	Ударная вязкость по Шарпи без надреза, кДж/м ²	10	
	Предел прочности при изгибе, МПа	52	
	Предел прочности при растяжении, МПа	18,9	
	Удельное сопротивление выдергиванию шурупов, Н/мм	330	
Несущая способность	Разрушающая нагрузка доски при расстоянии между опорами 400 мм	кгс	540
		Н	5292
Пожаробезопасность	Группа горючести	Г2	
	Группа распространения пламени	РП1	
	Коэффициент дымообразования	Д2	
	Группа воспламеняемости	В2	
	Показатель токсичности продуктов горения	Т1	
	Температура воспламенения, °С	330	
	Температура самовоспламенения, °С	538	

Исследования пожарной опасности показали, что композит согласно Федеральному закону «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» от 22.07.2008 N 123-ФЗ относится к следующим группам: группе материалов с умеренной дымообразующей способностью (Д2); группе умеренноопасных материалов (Т2); в сочетании с негорючей основой композитный материал относится к группе умеренновоспламеняемых (В2); группе нераспространяющих пламя (РП1) при испытаниях; группе умеренногорючих (Г2). Таким образом, произведенный композит может использоваться для изготовления современных стройматериалов.

В лаборатории ИРНТУ проведены испытания материала на устойчивость к раствору солей 5 % концентрации и к перепадам температур от -70 °С до +20 °С. Основными параметрами, которые могут повлиять на долговечность материала является увеличение массы за счёт насыщения соленным раствором и изменение прочности. Соленный раствор выбран также с целью оценки возможности применения террасных досок из разработанного полимерного композита в качестве обустройства морских палуб и пирсов, как альтернатива натуральному дереву и материалам из ДПК.

Исследования проводили на материале, предоставленном в виде пластинок шириной 30–45 мм и массой 100–120 г. Было изготовлено 24 образца, у которых вначале была измерена масса. Чтобы достоверно убедиться в стойкости к соленому раствору, образцы были выдержи-

ны при комнатной температуре в течении 35 дней в соленом растворе. После выдержки в растворе изменение массы не были зафиксированы, точность измерения составила 0,1 г, что говорит о стойкости материала к раствору соли.

Перед испытаниями на морозостойкость на 8 образцах была измерена прочность на изгиб и величина деформации, при которой образец разрушается. Далее после 20 и 30 циклов также испытывали по 8 образцов.

После 20 циклов изменение массы (среднее по 8 образцам) составило 1,22 %. Прочность на изгиб после 20 циклов уменьшилась на 6 %, а величина деформации при разрушении наоборот возросла на 39 %. Таким образом, после 20 циклов материал стал менее прочным и более пластичным. Пластинки до испытаний на морозостойкость и после 20 циклов при испытаниях на изгиб ломались одинаково: примерно посередине.

После 30 циклов изменение массы составило 3,39 %. Таким образом, на последних 10 циклах изменение массы резко возросло. Прочность на изгиб после 30 циклов увеличилась на 122 % (более чем в два раза), а величина деформации при разрушении наоборот уменьшилась на 50 %. Пластинки после 30 циклов при испытаниях на изгиб ломались по краям. Сильное изменение свойств на последних циклах говорит об изменениях, происходящих в материале. Увеличение прочности и уменьшение пластичности может быть следствием, как деструкции полимера, так и процессами повышения энергии межмолекулярных связей в результате присутствия тонкодисперсного наполнителя, золы. В целом материал провёл в соленом растворе 2 месяца и при этом коррозии (выкрашивания, разрушения) или изменения формы не наблюдалось.

Выводы

Результаты представленных исследований механических и эксплуатационных свойств, разработанных полимерных композитных материалов и характеристик дисперсных частиц на основе техногенного сырья топливно-энергетического комплекса, использующихся в качестве упрочняющих наполнителей, выявили перспективность полученного композита.

Выявлено, что зола уноса от сжигания углей на ТЭЦ г. Ангарска Иркутской области из нее подходит для получения высоконаполненных полимерных композиций.

Разработаны новые рецептуры композиций и установлены технологические параметры для экструзионного производства полимерных композитов с высокими физико-механическими свойствами.

Полученный композит по пожаробезопасности соответствует требованиям «Технического регламента о требованиях пожарной безопасности» №123-ФЗ (глава 3, статья 13) к строительным материалам, которые могут использоваться для большинства типов помещений.

При выдерживании образцов материала в соленой воде в течение 60 дней и испытании на морозостойкость при этом в течение 30 циклов показали, что материал не подвергся разрушению и изменениям формы.

Исследуемый композит может применяться в качестве конструкционного материала в различных сферах, имея более низкую по сравнению с аналогами стоимость и высокую долговечность.

Работа выполнена при финансовой поддержке проектов ГЗ 5.11496.2018/11.12

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году». URL: http://irkobl.ru/sites/ecology/ГД_2017.pdf (Дата обращения 10.09.2018)
2. Бурдонов А.Е., Барахтенко В.В., Зелинская Е.В., Сутурина Е.О., Бурдонова А.В., Головина А.В. Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе отходов производства с различными рецептурами // Инженерно-строительный журнал. 2012. № 9 (35). С. 14–22.
3. Марков А.В., Симонов-Емельянов И.Д., Прокопов Н.И., Ганиев Э.Ш., Аншин В.С., Марков В.А. Исследование жестких ПВХ-композиций с различными наполнителями // Пластические массы. 2012. № 5. С. 46–50.
4. Katz H.S., Mileski J.V. Handbook Of Fillers For Plastics. Science & Business Media, 1988. 736 p.

5. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Зарубина А.Ю., Зубков С.Б. Обобщенные параметры структуры, составы и свойства дисперсно-наполненных полимерных композиционных материалов со стеклянными шариками // Пластические массы. 2012. № 5. С. 52–57.
6. Панова Л.Г. Наполнители для полимерных композиционных материалов. Саратов: Сарат. гос. техн. ун-т, 2010. 68 с.
7. Симонов-Емельянов И.Д., Трофимов А.Н., Шембель Н.Л. Исследование процесса нанесения полимерного связующего на поверхность волокнистого армирующего наполнителя // Конструкции из композиционных материалов. 2009. № 3. С. 82–89.
8. Симонов-Емельянов И.Д., Апексимов Н.В., Прокопов Н.В., Ильин А.И. О влиянии наполнителя на формирование цены и стоимости полимерных композиционных материалов и изделий // Пластические массы. 2011. № 10. С. 60–64.
9. Марков А.В., Персиц В.Г., Марков В.А. и др. Модифицирование наполненных жестких ПВХ-композиций полиорганосилоксаном // Пластические массы. 2010. № 9. С. 46–49.
10. Шпирт М.Я., Пуланова С.А. Оценка радиоактивности твердых горючих ископаемых // Химия твердого топлива. 2014. № 1. С. 3.
11. Абдуллин И.А., Галимов Э.Р., Мухин А.М., Шибиков В.Г. Механические свойства наполненных поливинилхлоридных композиций // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 17. С. 107–109.

Барахтенко Вячеслав Валерьевич

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия, канд. техн. наук, доц., старший преподаватель кафедры обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова
E-mail: antivsyu@yandex.ru

Бурдонов Александр Евгеньевич

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия, канд. техн. наук, доц., доцент кафедры обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова
E-mail: slimbul@inbox.ru

Зелинская Елена Валентиновна

ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», г. Иркутск, Россия, д-р техн. наук, доц., профессор кафедры обогащения полезных ископаемых и охраны окружающей среды им. С.Б. Леонова
E-mail: zelinskaelena@mail.ru

BARAKHTENKO V.V., BURDONOV A.E., ZELINSKAYA E.V.

EVALUATION OF EFFICIENCY OF INDUSTRIAL WASTE APPLICATION AS A FILLER OF POLYVINYL CHLORIDE COMPOSITIONS

The article presents the results of research on the development of new mineral polymer composite materials. In the production of composites by extrusion, fly ash is used from the combustion of coal at thermal power plants as a filler and polyvinyl chloride as a binder. The properties of fly ash are investigated from the point of view of its applicability as a filler. The results of investigations of the physical-mechanical and consumer characteristics of the developed materials are shown. The commercial production of the resulting polymer composites should have a significant impact on the environmental safety of the Baikal region, as it will consume significant amounts of industrial waste.

Keywords: polyvinyl chloride, composite materials, industrial waste, fly ash, extrusion, physical and mechanical properties.

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Irkutskoy oblasti v 2016 godu» [State report "On the state and environmental protection of the Irkutsk region in 2016"]. URL: http://irkobl.ru/sites/ecology/GD_2017.pdf (Available on 10.09.2018).

2. Burdonov A.Ye., Barakhtenko V.V., Zelinskaya Ye.V., Suturina Ye.O., Burdonova A.V., Golovnina A.V. Fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki kompozitsionnykh materialov na osnove otkhodov proizvodstva s razlichnymi retsepturami [Physico-mechanical characteristics of composite materials based on production wastes with various formulations]. *Magazine of Civil Engineering*. 2012. No 9 (35). Pp. 14–22. (rus)
3. Markov A.V., Simonov-Yemel'yanov I.D., Prokopov N.I., Ganiyev E.SH., Anshin V.S., Markov V.A. Issledovaniye zhestkikh PVKH-kompozitsiy s razlichnymi napolnitelyami [Study of rigid PVC compositions with various fillers]. *Plasticheskiye massy*. 2012. No 5. Pp. 46–50. (rus)
4. Katz H.S., Mileski J.V. Handbook of Fillers for Plastics. Science & Business Media, 1988. 736 p.
5. Simonov-Yemel'yanov I.D., Apeksimov N.V., Zarubina A.YU., Zubkov S.B. Obobshchennyye parametry struktury, sostavy i svoystva dispersno-napolnennykh polimernykh kompozitsionnykh materialov so steklyan-nymi sharikami [Generalized parameters of the structure, composition and properties of dispersion-filled polymer composites with glass balls]. *Plasticheskiye massy*. 2012. No 5. Pp. 52–57. (rus)
6. Panova L.G. Napolniteli dlya polimernykh kompozitsionnykh materialov [Fillers for polymer composites]. Saratov: Sarat. gos. tekhn. un-t, 2010. 68 p. (rus)
7. Simonov-Yemel'yanov I.D., Trofimov A.N., Shembel' N.L. Issledovaniye protsessa naneseniya po-limernogo svyazuyushchego na poverkhnost' voloknistogo armiruyushchego napolnitelya [Investigation of the process of applying a polymer binder to the surface of a fibrous reinforcing filler]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov*. 2009. No 3. Pp. 82–89. (rus)
8. Simonov-Yemel'yanov I.D., Apeksimov N.V., Prokopov N.V., Il'in A.I. O vliyaniy napolnitelya na formirovaniye tseny i stoimosti polimernykh kompozitsionnykh materialov i izdeliy [On the influence of the filler on the formation of prices and the cost of polymer composite materials and products]. *Plasticheskiye massy*. 2011. No 10. Pp. 60–64. (rus)
9. Markov A.V., Persits V.G., Markov V.A. et al. Modifitsirovaniye napolnennykh zhestkikh PVKH-kompozitsiy poliorganosiloksanom [Modification of Filled Hard PVC Compositions with Polyorganosiloxane]. *Plasticheskiye massy*. 2010. No 9. Pp. 46–49. (rus)
10. Shpirt M.YA., Punanova S.A. Otsenka radioaktivnosti tverdykh goryuchikh iskopayemykh [Evaluation of the radioactivity of solid combustible minerals]. *Khimiya tverdogo topliva*. 2014. No 1. Pp. 3. (rus)
11. Abdullin I.A., Galimov E.R., Mukhin A.M., Shibakov V.G. Mekhanicheskiye svoystva napolnennykh polivinilkhloridnykh kompozitsiy [Mechanical properties of filled polyvinyl chloride compositions]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012. Vol. 15. No 17. Pp. 107–109. (rus)

Barakhtenko Vyacheslav V.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
Cand. tech. Sci., Assoc. Prof., Senior Lecturer, Department of Mineral Processing and Environmental Protection
Department named after S.B. Leonov
E-mail: antivsyoy@yandex.ru

Burdonov Alexander E.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
Cand. tech. Sciences, Associate Professor of the Department of Mineral Processing and Environmental Protection
Department named after S.B. Leonov
E-mail: slimbul@inbox.ru

Zelinskaya Elena V.

Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia,
Dr. Tech. sciences, associate professor, professor of the Department of Mineral Processing and Environmental Protection
Department named after S.B. Leonov
E-mail: zelinskaelena@mail.ru

БЕДОВ А.И., ГАБИТОВ А.И., СЕМЕНОВ А.А., ГАЙСИН А.М., САЛОВ А.С.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ ПО НАПРАВЛЕНИЮ «СТРОИТЕЛЬСТВО»

Предметом исследования является необходимость перехода к современным программным проектирующим комплексам, вследствие необходимости обязательного усвоения обучающимися методов расчета железобетонных конструкций по действующим нормам и правилам. Показано, что изучение внедрения современных программных комплексов в учебный процесс, в связи с расширением и обновлением круга возможностей проектирования, может привести к сокращению объемов учебной нагрузки и усвоения большего объема знаний за меньший промежуток времени, а также улучшение структуры преподавания дисциплины "Железобетонные и каменные конструкции", построенной на основе процесса рассмотрения задач расчета и проектирования железобетонного каркаса одноэтажного промышленного здания. В основу методологии положены принципы объективности, системы и развития, при изложении материала был использован статистический уровень методологического анализа. Изучение нижеизложенного материала позволило дать объективную характеристику состояния приобретения полезных навыков пользователем в современных автоматизированных комплексах. Приведены данные о характере производимых работ, в том числе о возможности создания алгоритма моделирования пространственной расчетной схемы классического каркаса одноэтажного промышленного здания, которая помогла в изучении многих объектов исследования по направлению «Строительство». В процессе изучения было принято несколько гипотез относительно моделирования сопряжений несущих элементов каркаса и статистического расчета в линейной постановке. В ходе исследования был раскрыт широкий круг важных вопросов, которые могут при дальнейшем изучении данной темы, выступать объектом исследований. Вопрос работы в пространственной схеме двухветвевых колонн на данный момент так и остается актуальным.

Ключевые слова: железобетонные и каменные конструкции, алгоритм моделирования, автоматизированное проектирование, конечно-элементная модель, расчетная схема.

Введение

Переход строительных вузов России на уровневую систему высшего образования предусматривает реализацию различных мероприятий, при этом одним из важнейших является обновление учебно-методических материалов.

Современные учебные пособия для вузов по дисциплине "Железобетонные и каменные конструкции" уже несколько десятков лет используют при расчетах классические подходы инженерных методов [1, 2]. Недостаточно внимания уделяется внедрению в учебный процесс возможностей современных программных комплексов, что особенно актуально в связи с появлением широкого спектра проектирующих программ и постоянного их обновления и расширения возможностей [3, 4]. Выходящие в свет учебные пособия и книги [5, 6], посвященные вопросам автоматизированного проектирования пользуются у студентов большой популярностью и не всегда могут удовлетворить спрос при использовании в учебном процессе.

Приведенные положения определяют необходимость обязательного усвоения обучающимися методов расчета ЖБК по действующим нормам и правилам с рациональным использованием современных программных проектирующих комплексов. Несмотря на очевидность поставленных задач, процесс имеет достаточно сложный и противоречивый характер [7]. С одной стороны, сокращение сроков обучения для бакалавриата ведет к сокращению объемов учебной нагрузки практически по всем преподаваемым дисциплинам. Здесь применение информационно-коммуникационных технологий имеет положительный аспект за счет возможностей усвоения большего объема знаний за меньший промежуток времени. С другой сторо-

ны, усвоение обязательного минимума теоретических знаний студентом в сочетании с необходимостью приобретения навыков пользователя современными автоматизированными комплексами ведет к интенсификации процесса обучения [8, 9]. Именно для решения обозначенных проблем авторы считают полезными всевозможные методические пособия и рекомендации, направленные на рациональное сочетание обеих сторон в едином образовательном пространстве [10, 11].

Модели и методы

Структура преподавания дисциплины "Железобетонные и каменные конструкции" на архитектурно–строительном факультете Уфимского государственного нефтяного технического университета построена на принципе гармоничного последовательного процесса рассмотрения задач расчета и проектирования железобетонного каркаса одноэтажного промышленного здания [12, 13], на протяжении последних десятилетий являющегося объектом курсового и дипломного проектирования инженерной подготовки строителей (рис.1).

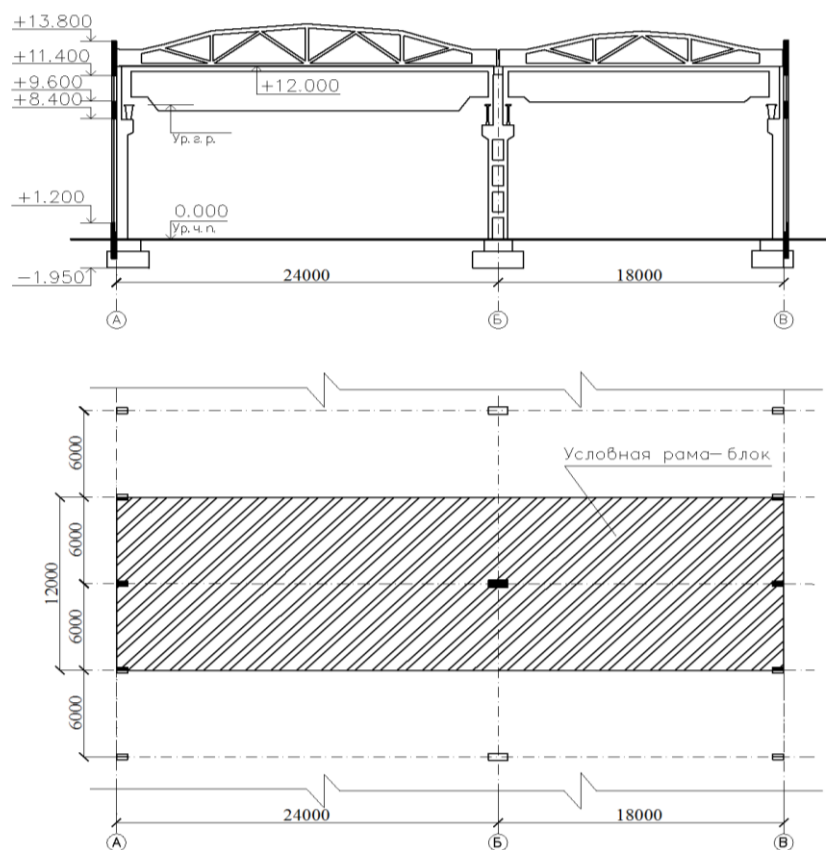


Рисунок 1 – Пример исходных данных

Задача разделена на четыре последовательно связанных между собой этапа:

1. Статический расчет и конструирование несущих элементов каркаса традиционным методом (вариант 1 – «ручной» расчет плоской рамы). Расчетная схема приведена на рис.2.
2. Применение ПК SCAD [14, 15] для решения задачи этапа 1 (вариант 2 – автоматизированный статический расчет и конструирование плоской поперечной рамы каркаса). Конечно–элементная модель приведена на рис.3.
3. Создание пространственной модели каркаса в среде SCAD и исследование напряженно–деформированного состояния (НДС) несущих элементов (вариант 3 – автоматизированный расчет и конструирование пространственной задачи). Расчетная модель представлена на рис.4.

4. Сравнительный анализ полученных результатов.

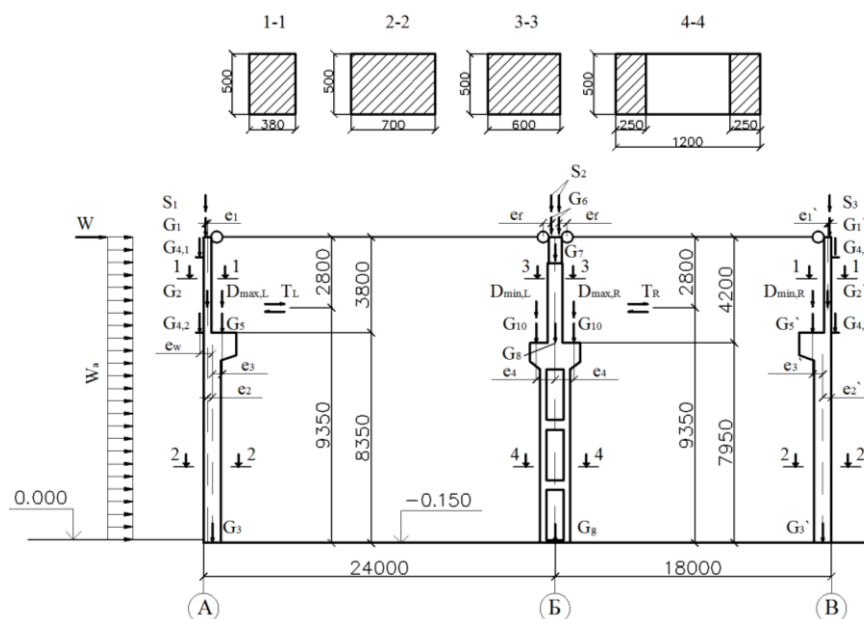


Рисунок 2 – Вариант 1

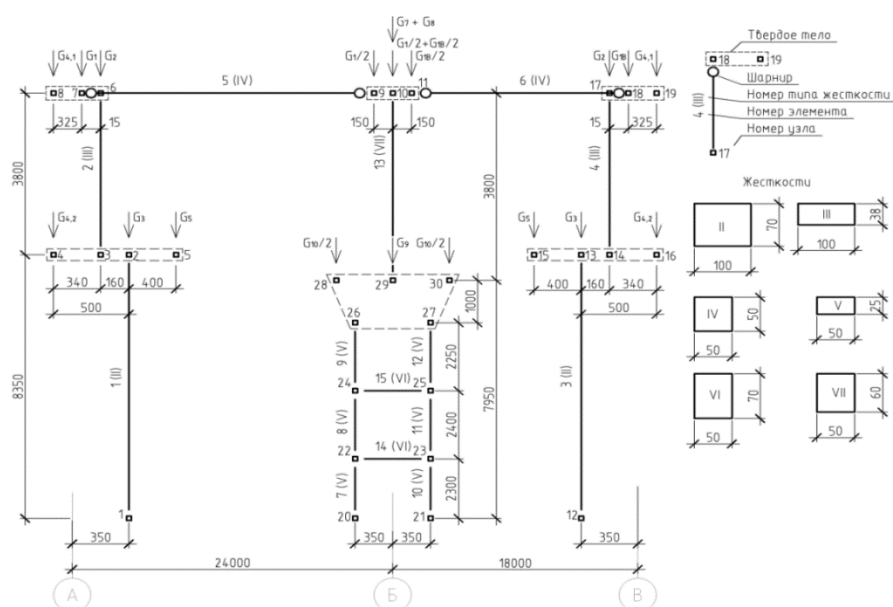


Рисунок 3 – Вариант 2

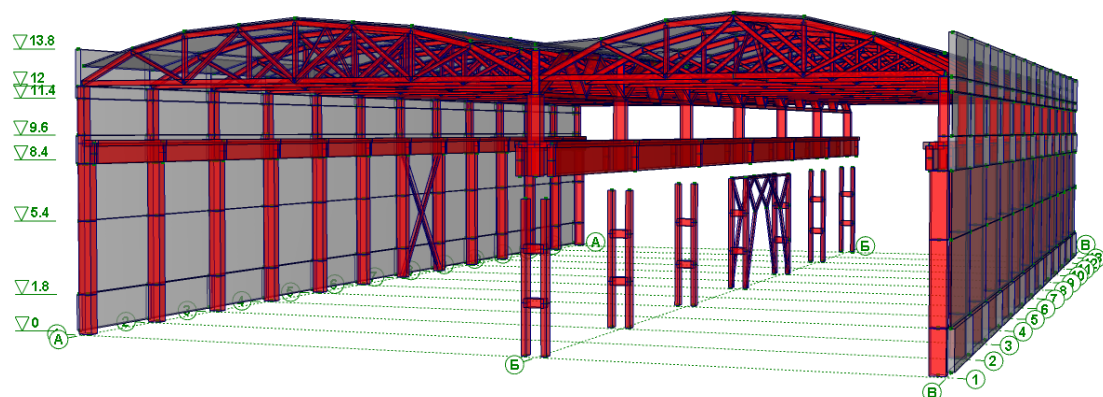


Рисунок 4 – Вариант 3

Результаты исследования и их анализ

Первому этапу (вариант 1) в пособиях уделено особое внимание, как методически важному. Без усвоения "инженерных" основ расчета и конструирования элементов в соответствии с действующими нормами и правилами невозможен допуск будущего расчетчика-конструктора к пользованию проектирующими программными комплексами.

При создании пространственной расчетной модели каркаса (вариант 3) с учетом упрощений для правильного восприятия обучающимися и максимальному приближению к действительной работе конструкций приняты следующие гипотезы (рис. 5):

1. Несущие элементы пространственного каркаса (колонны, стропильные и подстропильные фермы, подкрановые балки, связи) приняты стержневыми элементами (тип

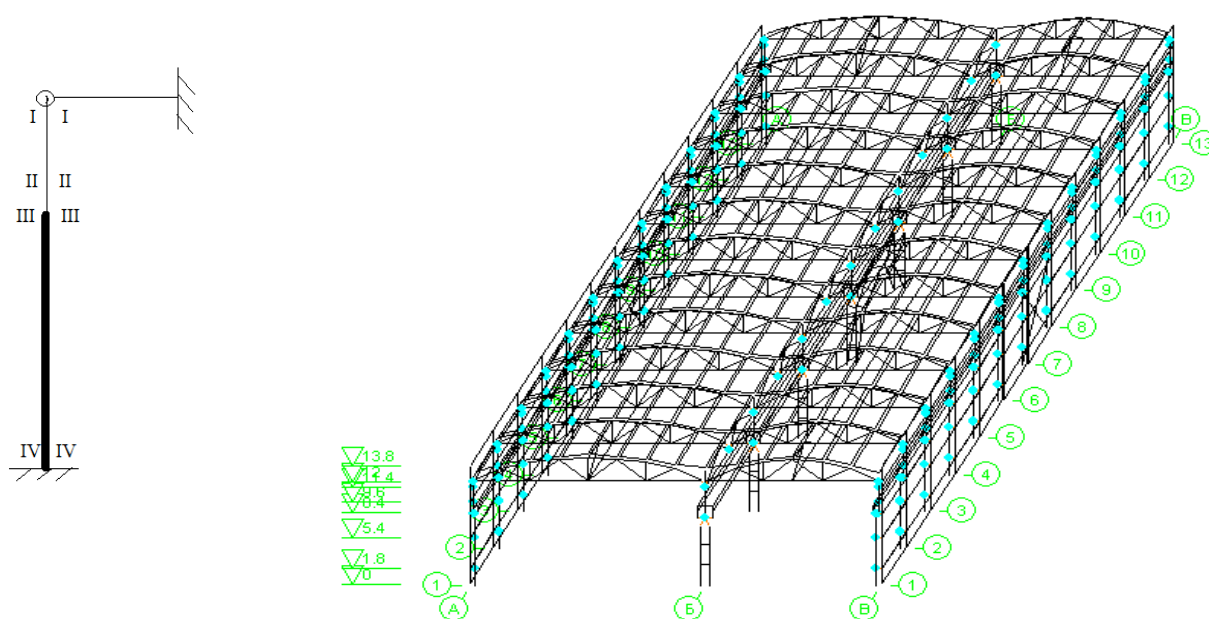


Рисунок 5 – Пространственная расчетная схема каркаса

2. Ограждающие конструкции (навесные стеновые панели, остекление, плиты покрытия) приняты пластинчатыми (оболочечными) элементами (тип 44);

3. Моделирование сопряжений несущих элементов каркаса [16] осуществляется при помощи твердых тел (тип 100);

4. Для обеспечения совместной работы элементов каркаса использован прием объединения перемещений;

5. Статический расчет ведется в линейной постановке;

6. Элементы, растянутые при воздействии внешних нагрузок, условно представлены в виде элементов с жесткостными характеристиками железобетонных ненапряженных элементов [17];

7. Подкрановые балки приняты разрезными с условиями передачи вертикальных нагрузок от кранов через стенку, а горизонтальных нагрузок на колонны - через верхний пояс балки;

8. Железобетонные плиты покрытий шарнирно опираются на узлы ферм и включаются в совместную работу со стропильными конструкциями покрытия;

9. Связи по каркасу выполнены в виде шарнирно-стержневых металлических конструкций [18];

10. Торцевые ограждения условно отсутствуют, так как исследуется температурный блок

нормативной длины (72 м) [19, 20].

Анализ полученных результатов статического расчета трех вариантов расчетных схем каркаса одноэтажного промышленного здания [21, 22], состоящего из двух неравных пролетов с различными шагами колонн по наружным и внутренней осям показал, что напряженно-деформированное состояние основных несущих конструкций по вариантам 1 и 2 (плоская модель) и варианту 3 (пространственная модель) имеет качественные и количественные различия [23, 24] (табл. 1). Данные различия объясняются принятыми предпосылками и гипотезами при определении правил создания расчетной схемы каждого варианта.

Таблица 1 – Действующие усилия в сечениях крайней колонны по оси А

Нагрузка	Вид схемы	Номер загрузки	Сечения и действующие усилия (кН, кН*м)						
			II-II		III-III		IV-IV		
			N	M	N	M	N	M	Q
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Собственный вес	ручной	–	303,37	6,11	380,28	-33,68	455,18	16	-5,95
	плоская рама	1	303,37	5,73	455,18	-34,06	455,18	14,79	-5,85
	блок	11+5	324,83	-0,64	418,98	-39,24	518,55	15,1	-4,16
Снег, 1 вар. равномерное нагружение	ручной	–	218,88	9,85	218,88	-25,18	218,88	3,68	-3,46
	плоская рама	2	218,88	9,57	218,88	-25,45	218,88	2,81	-3,38
	блок	3	220,2	2,15	220,2	-33,92	220,2	-19,54	-1,73
Крановая Dmax А	ручной	–	0	-33,95	245,43	64,22	245,43	-10,39	8,94
	плоская рама	5	0	-33,70	245,43	64,47	245,43	-9,59	8,87
	блок	6	0,71	-28,57	341,83	86,66	341,83	-18,20	12,59
Т, А	ручной	–	0	±9,57	0	±9,57	0	±24,63	±8,19
	плоская рама	6	0	±8,98	0	±8,98	0	±26,49	±4,25
	блок	8	1,25	±7,28	1,25	±15,13	1,25	±35,33	±6,06
Ветровая слева	ручной	–	0	3,07	0	3,07	0	67,66	-12,5
	плоская рама	3	0	4,76	0	4,76	0	73,08	-12,94
	блок	1	0,06	0,26	0,06	0,76	0,06	55,61	-9,80
Ветровая справа	ручной	–	0	-6,68	0	-6,68	0	-57,51	9,06
	плоская рама	4	0	-8,28	0	-8,28	0	-62,65	9,49
	блок	2	0,03	0,26	0,03	-4,21	0,03	-46,35	7,06

Выводы

Попытка создать алгоритм моделирования пространственной расчетной схемы классического каркаса одноэтажного промышленного здания не дала абсолютных ответов, но поставила много интересных вопросов, которые могут послужить объектом исследований при углубленном изучении специальных дисциплин по программам магистерской подготовки «Промышленное и гражданское строительство», «Проектирование и строительство зданий и сооружений нефтегазовой отрасли», «Технология строительных процессов, эффективного применения материалов и конструкций» по направлению «Строительство».

Здесь интересным представляется:

Анализ влияния конструктивной схемы каркаса на пространственную работу при кра-
новых воздействиях;

Исследование НДС стропильных конструкций с учетом включения в работу плит по-
крытия;

Численный анализ фактической передачи нагрузок от неравномерно деформируемых
плит покрытия на узлы стропильных конструкций;

Исследование НДС стропильных конструкций при учете последовательности
включения в совместную работу плит покрытия на стадии возведения и последующей
эксплуатации (режим "МОНТАЖ);

Вариантное проектирование каркасов при заданном плане с применением различных
конструкций (подсхем);

Нераскрытым остался вопрос работы в пространственной схеме двух-ветвевых колонн.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.А., Габитов А.И. Проектно-вычислительный комплекс SCAD в учебном процессе. Часть 1. Статический расчет. М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов, 2005. 152 с.
2. Нидзий Е.Н. Проблемы и перспективы развития строительной отрасли России в условиях экономического кризиса // Вестник МГСУ. 2016. № 5. С. 119-129.
3. Коваль Э.З., Рязанова В.А., Рогинская Е.Л., Иванов Ф.М. Микодеструкторы строительных конструкций внутренних помещений предприятий пищевой промышленности // Микробиологический журнал. 1991. Т.1991. Т.53. № 4. С. 96-103
4. Рязанов А.Н., Винниченко В.И. Исследование влияния органической составляющей отходов углеобогащения на процесс декарбонизации доломита // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2014. №1 (176). С.115-117
5. Рахманкулов Д.Л., Габитов А.И., Семенов А.А., Удалова Е.А. Высшее строительное образование в Республике Башкортостан: историческое наследие, опыт и перспективы развития. М.: Интер, 2010. 390 с.
6. Габитов А.И., Семенов А.А., Маляренко А.А. Методическое обеспечение образовательного процесса в условиях ФГОС 3 по дисциплине «Железобетонные и каменные конструкции» // Железобетонные конструкции: исследования, проектирование, методика преподавания. Мат-лы Международной научно-методической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения В.Н.Байкова. Москва: 4-5 апреля 2012 г. С.60-65
7. Синицин Д.А., Салова М.С., Султаншина Э.Д., Рязанова В.А. Применение бетона повышенной прочности при бетонировании фундаментной плиты под высотный жилой дом в г.Уфа // В сборнике: Актуальные проблемы технических, естественных и гуманитарных наук. Материалы Международной научно-технической конференции Памяти В.Х. Хамаева. 2016. С.123-125
8. Габитов А.И., Гайсин А.М., Салов А.С. Оптимизация самостоятельной работы студентов профиля «Промышленное и гражданское строительство» на практических занятиях по специальным дисциплинам // Проблемы строительного комплекса России. Материалы XXI Международной научно-технической конференции. 2017. С. 385-386.
9. Kishitani K., Kasami H., Lizuka M., Ikeda T. Ingeneering properties of superplasticized concretes. Amer. Concr. Inst. 1981. Pp. 233-252.
10. Building Code requirements for Structural Concrete // American Concrete Institute, 2014. 438 p.
11. Бедов А.И., Гайсин А.М., Габитов А.И. Компьютерное моделирование работы под нагрузкой высокопустотных керамических стеновых изделий и кладок на их основе // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. №3 (369). С. 231-236.
12. Карпиловский В.С., Криксунов Э.З., Маляренко А.А., Микитаренко М.А., Перельмутер А.В., Перельмутер М.А. Вычислительный комплекс SCAD. Версия 21.1. М.: Издательство «СКАД СОФТ», 2015. 807 с.
13. Рязанов А.Н., Винниченко В.И. Термодинамический анализ возможности интенсификации процесса диссоциации карбоната магния при содержании в доломите угольной составляющей // Вестник Воронежского государственного технического университета. Серия: Технические науки. 2013. Т.9. № 6.2.С.22-24.
14. Перельмутер А.В., Сливкер В.И. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа. 4-е издание перераб. М.: Изд-во СКАД СОФТ, 2011. 736 с.
15. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures // VA: American Society of Civil Engineers, Reston, 2002. 419 p.
16. Бедов А.И., Габитов А.И., Салов А.С., Гайсин А.М., Хабибуллина Л.И. Применение компьютерного моделирования при оптимизации сечений элементов железобетонного каркаса // Строительство и реконструкция № 6 (74) 2017 (ноябрь-декабрь). С. 3-12.
17. Shah S.P., Ahmad S.H. High performance concrete: Properties and applications // McGraw-Hill, Inc. 1994. 403
18. Пудовкин А.Н., Рязанова В.А., Недосеко И.В. Программа расчета содержания глины в комках: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018617277 / правообладатель ФГБОУ ВО УГНТУ; заявл. 26.04.2018; зарег. 21.06.2018
19. Balageas D., Fritzén C.P., Guemes A. Structural Health Monitoring. Publ. ISTE Ltd, London, 2006. 496 p.
20. Бедов А.И., Салов А.С., Габитов А.И., Кадметметры структурных решений железобетонных конструкций. // XXI Международная научная конференция по усовершенствованию гражданского строительства (ФОРМА 2018) 25-27 апреля 2018 года, Москва, Российская Федерация. Том 365 (2018), 2018, С. 1-8
21. Gordon Clark. Ferroconcrete - as a factor of globalization // Concrete and reinforced concrete - a look into the future: nauch. tr. III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete (Moscow, May 12-16, 2014): in 7 vol. М.: MGSU, 2014. Vol. 7. Pp. 103-112.

22. Krot A., Ryazanova V., Gabitov A., Salov A., Rolnik L. Resource-saving technologies for advanced concrete in the Republic of Bashkortostan // MATEC Web of Conferences 7. "7th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings" (Transbud 2018) 2018. Vol. 230. Article number 03009.

23. Ostroukh A.V., Nedoseko I.V., Surkova N.E., Bulatov B.G. Automated control system for the milling unit of mineral powders plant // International Journal of Applied Engineering Research Vol. 11, Issue 4, 1 March 2016, Pp. 2625-2628

24. Vinnichenko V, Ryazanov A. Ecological indices manufacture of portland cement clinker and production of the dolomite clinker // MATEC Web of Conferences 6. "6th International Scientific Conference "Reliability and Durability of Railway Transport Engineering Structures and Buildings", Transbud 2017" 2017. Vol. 116. Article number 01020

Бедов Анатолий Иванович

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет»
Москва, Россия,

кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры железобетонных и каменных конструкций,

E-mail: gbk@mgso.ru

Габитов Азат Исмагилович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Республика Башкортостан,
г. Уфа,

доктор технических наук, профессор, профессор кафедры строительных конструкций,

E-mail: azat7@ufanet.ru

Семенов Александр Александрович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Республика Башкортостан,
г. Уфа, ул. Космонавтов 1, кандидат технических наук, профессор кафедры строительных конструкций,

E-mail: asfugntu@yandex.ru

Гайсин Аскар Миннирович

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Республика Башкортостан,
г. Уфа,

кандидат технических наук, доцент кафедры строительных конструкций,

E-mail: askargaisin@yandex.ru

Салов Александр Сергеевич

ФГБОУ ВО «Уфимский государственный нефтяной технический университет», Республика Башкортостан,
г. Уфа,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Автомобильные дороги и технология строительного производства»

E-mail: salov@list.ru

BEDOV A.I., GABITOV A.I., SEMENOV A.A., GAISIN A.M., SALOV A.S.

APPLICATION OF COMPUTER TECHNOLOGIES AT PREPARATION OF SPECIALISTS ON THE DIRECTION OF "CONSTRUCTION"

Theoretical research is the transition to modern software programs, associated with complex knowledge and practice. It is shown that to study the introduction of modern software systems in the educational process, as well as to improve the structure of the teaching of the discipline "Reinforced concrete and stone structures", built on the basis of the process of solving the problems of calculating and designing the reinforced concrete frame of a single-storey industrial building. The scientific research used, in the basis of the methodology of fundamental analytical research. The given data on the nature of the works performed, including the possibilities of the algorithm for modeling the spatial design scheme of the classical framework of a single-storey industrial building, which helped in the study of many objects of research in the direction "Construction". In the process of studying, several hypotheses about learning were adopted. In the course of the study, a wide range of important issues were revealed that could, if further study of this topic, be the subject of research. The question of working in the spatial scheme of double-stranded columns at the moment is still relevant.

Keywords: reinforced concrete and stone structures, simulation algorithm, computer-aided design, finite element model, design scheme.

REFERENCES

1. Semenov A.A., Gabitov A.I. Proektno-vychislitel'nyj kompleks SCAD v uchebnom processe. CHast' 1. Staticheskij raschet. [Design and computing complex SCAD in the educational process. Part 1. Static calculation]. Moscow: Publishing House of the Association of Building Universities, 2005. 152 p. (rus)
2. Nidziy E.N. Problemy i perspektivy razvitiya stroitel'noj otrasli Rossii v usloviyah ehkonomicheskogo krizisa [Problem and prospects of construction industry development in Russia in the conditions of economic crisis] *Vestnik MGSU*. 2016. No 5. Pp 119-129(rus)
3. Koval E.Z., Ryazanova V.A., Roginskaya E.L., Ivanov F.M. Mikodestrukturny stroitel'nyh konstrukcij vnutrennih pomeshchenij predpriyatij pishchevoj promyshlennosti [Mikodestrukturny construction of internal structures of food industry enterprises] *Microbiological Journal*. 1991. Vol.53. No 4. Pp. 96-103. (rus)
4. Ryazanov A.N., Vinnichenko V.I. Issledovanie vliyaniya organicheskoy sostavlyayushchej othodov ugleobogasheniya na process dekarbonizatsii dolomita [Investigation of the influence of the organic constituent of the waste of coal enrichment on the process of decarbonization of dolomite] *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. North-Caucasian region. Series: Engineering*. 2014. No. 1 (176). Pp.115-117. (rus)
5. Rakhmankulov D.L., Gabitov A.I., Semenov A.A., Udalova E.A. Vysshee stroitel'noe obrazovanie v Respublike Bashkortostan: istoricheskoe nasledie, opyt i perspektivy razvitiya [Higher building education in the Republic of Bashkortostan: historical heritage, experience and development prospects] Moscow: Inter, 2010. 390 p. (rus)
6. Gabitov A.I., Semenov A.A., Malyarenko A.A. Metodicheskoe obespechenie obrazovatel'nogo processa v usloviyah FGOS 3 po discipline «Zhelezobetonnye i kamennye konstrukcii» [Methodical support of the educational process in the conditions of GEF 3 for the discipline "Reinforced concrete and stone structures"]. Zhelezobetonnye konstruktsii: issledovaniya, proyektirovaniye, metodika prepodavaniya. Mat-ly Mezhdunarodnoy nauchno-metodicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 100-letiyu so dnya rozhdeniya V.N. Baykova [Reinforced concrete constructions: research, design, teaching methods. Materials of the International Scientific and Methodological Conference dedicated to the 100th anniversary of the birth of V.N. Baikov]. Moscow: April 4-5, 2012. pp. 60-65. (rus)
7. Sinitsin D.A., Salova M.S., Sultanshina E.D., Ryazanov V.A. Primenenie betona povyshennoj prochnosti pri betonirovanii fundamentnoj plity pod vysotnyj zhiloy dom v g. Ufa [The use of high-strength concrete for concreting a foundation slab for a high-rise apartment building in Ufa]. V sbornike: Aktual'ny problemy tekhnicheskikh, yestestvennykh i gumanitarnykh nauk. Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii Pamyati V.Kh. Khamaeva [In the proceedings: Actual problems of technical, natural and human sciences are urgent. Materials of the International Scientific and Technical Conference in memory of V.Kh. Khamaev]. 2016. Pp.123-125. (rus)
8. Gabitov A.I., Gaisin A.M., Salov A.S. Optimizatsiya samostoyatel'noy raboty studentov profilya «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo» na prakticheskikh zanyatiyakh po special'nym disciplinam [Optimization of the independent work of the students of the profile "Industrial and civil construction" in practical classes on special subjects]. Problemy stroitel'nogo kompleksa Rossii. Materialy XXI Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii [Problems of the Russian construction industry. Materials of the XXI International Scientific and Technical Conference]. 2017. Pp. 385-386. (rus)
9. Kishitani K., Kasami H., Lizuka M., Ikeda T. Ingeneering properties of superplasticized concretes. Amer. Concr. Inst. 1981. Pp. 233-252.
10. Building Code requirements for Structural Concrete. American Concrete Institute, 2014. 438 p.
11. Bedov A.I., Gaisin A.M., Gabitov A.I. Komp'yuternoe modelirovanie raboty pod nagruzkoj vysokopustotnykh keramicheskikh stenovykh izdelij i kladok na ih osnove [Computer modeling of work under load of high-vacuum ceramic wall products and clutches on their basis] *Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. Technology of the textile industry*. 2017. No. 3 (369). Pp. 231-236. (rus)
12. Versiya 21.1. [Computer complex SCAD. Version 21.1] Moscow: Publishing house "SKAD SOFT", 2015. 807 p. (rus)
13. Ryazanov A.N., Vinnichenko V.I. Termodinamicheskij analiz vozmozhnosti intensifikatsii processa dissociatsii karbonata magniya pri sodержanii v dolomite ugol'noj sostavlyayushchej [Thermodynamic analysis of the possibility of intensification of the process of dissociation of magnesium carbonate with the content of the coal constituent in the dolomite]. *Vestnik Voronezh State Technical University. Series: Engineering*. 2013. Vol.9. No. 6.2. Pp. 22-24. (rus)
14. Perelmuter A.V., Slivker V.I. Raschetnye modeli sooruzhenij i vozmozhnost' ih analiza. 4-e izdanie pererab [Calculation models of structures and the possibility of their analysis]. 4 th edition. Moscow: Publishing house SCAD SOFT, 2011. 736 p. (rus)
15. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. VA: American Society of Civil Engineers, Reston, 2002. 419 p.
16. Bedov A.I., Gabitov A.I., Salov A.S., Gaisin A.M., Khabibullina L.I. Primenenie komp'yuternogo modelirovaniya pri optimizatsii sechenij ehlementov zhelezobonnogo karkasa [Application of computer simulation for optimization of sections of reinforced concrete frame elements]. *Building and reconstruction*. 2017. No. 6 (74) (November-December). Pp. 3-12. (rus)

17. Shah S.P., Ahmad S.H. High performance concrete: Properties and applications. McGraw-Hill, Inc. 1994. 403 p.
18. Pudovkin A.N., Ryazanova V.A., Nedoseko I.V. Programma rascheta sodержaniya gliny v komkah [Program for calculating clay content in lumps]: Certificate of state registration of the computer program No. 2018617277 / copyright holder of the FGBUU in the UGNTU; claimed. 26/04/2018; zareg. 06/21/2018
19. Balageas D., Fritzen C.P., Guemes A. Structural Health Monitoring. London: Publ. ISTE Ltd, 2006. 496 p.
20. Bedov A.I., Salov A.S., Gabitov A.I. Cad methods of structural solutions for reinforced concrete frame. *IOP: MSE*. Vol. 365 (2018), 2018, Pp. 1-8.
21. Gordon Clark. Ferroconcrete - as a factor of globalization. Concrete and reinforced concrete - a look into the future: nauch. tr. III All-Russian (II International) Conference on Concrete and Reinforced Concrete (Moscow, May 12-16, 2014). Moscow: MGSU, 2014. Vol. 7. Pp. 103-112.
22. Krot A., Ryazanova V., Gabitov A., Salov A., Rolnik L. Resource-saving technologies for advanced concrete in the Republic of Bashkortostan. *MATEC Web of Conferences*. 2018. Vol. 230. Article number 03009.
23. Ostroukh A.V., Nedoseko I.V., Surkova N.E., Bulatov B.G. Automated control system for the milling unit of mineral powders plant. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2016. Vol. 11. Issue 4. Pp. 2625-2628.
24. Vinnichenko V, Ryazanov A. Ecological indices manufacture of portland cement clinker and production of the dolomite clinker. *MATEC Web of Conferences*. 2017. Vol. 116. Article number 01020.

Bedov Anatolij I.

Moscow State University of Civil Engineering (MSUCE), Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., prof., prof. of the dep. of reinforced concrete and stone structures
E-mail: gbk@mgsu.ru

Gabitov Azat I.

Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Ufa, Russia,
doctor in tech. sc., prof., prof. of the dep. of building structures
E-mail: azat7@ufanet.ru

Semenov Aleksandr A.

Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Ufa, Russia,
candidate in tech. sc., prof. of the dep. of building structures
E-mail: asfugntu@yandex.ru

Gaisin Askar M.

Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Ufa, Russia,
candidate in tech. sc., associate Prof. of the dep. of building structures
E-mail: askargaisin@yandex.ru

Salov Aleksandr S.

Ufa State Petroleum Technological University (UGNTU), Ufa, Russia,
candidate in tech. sc., associate Prof., associate Prof. of the dep. of roads and construction technology
E-mail: salov@list.ru

ПРИНЦИПЫ СОЗДАНИЯ МОДЕЛЕЙ И ТЕХНОЛОГИЙ КАЧЕСТВЕННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ СТРОИТЕЛЬСТВА

Проблема повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования и управления качеством проектирования в условиях изменившихся в настоящее время технологических возможностей проектных организаций представляется крайне важной. В связи с этим в составе сформулированы принципы создания моделей, технологий и алгоритмов качественного проектирования объектов строительства на основе новой парадигмы биосферно совместимого и развивающего человека города (city planning), созданной и развиваемой в настоящее время в Российской академии архитектуры и строительных наук. Главной особенностью предполагаемых моделей является включение в систему специальных механизмов взаимодействия проектировщик - система, построенных на системе последовательно взаимосвязанных принципов иерархию пунктов, позиций- действий при функционировании САПР по обеспечению высокого качества проектных работ и безопасности проектируемых объектов.

Ключевые слова: системы автоматизированного проектирования, биосферная совместимость, качество проектирования, принципы проектирования.

Введение

В Указе Президента РФ №204 от 7 мая 2018г "О национальных целях и стратегических задачах развития Российской Федерации на период до 2024 года" [1] в целях осуществления прорывного научно-технического и национально-экономического развития страны наряду с задачами технического характера и стимулирования внедрения передовых технологий в различных сферах деятельности в т.ч. в проектировании и строительстве пожалуй впервые за последние почти три десятилетия вернулись к необходимости достижения такого ключевого показателя как воспитание гармонично развитой и социально ответственной личности получения практико- ориентированных профессиональных знаний. Уже ни для кого не секрет, что как раз такие знания после многократного реформирования профессионального образования в направлении "оказания услуг" профессионализм улетучился не только у выпускников вузов, но и из названий высших учебных заведений.

Применяемые в настоящее время модели и алгоритмы архитектурно- строительного проектирования, в т.ч. проектирования жилья, городской среды, инженерных систем города не учитывают современные особенности взаимодействия проектировщик- система и как следствие не используют организационно- финансовые механизмы анализа качества проектных решений с учетом уровня профессионального человеческого потенциала исполнителей. Стало достаточно массовым такое явление, когда имеет место не только ручное управление качеством проектных работ, но и когда во главе такого управления стоят «управленцы», не имеющие профессиональных знаний в данной сфере. Такое управление качеством проектных работ в условиях отсутствия механизмов востребованности и внедрения передовых технологий исключает в принципе переход к использованию современных интерактивных комплексов анализа и методов внедрения новых проектных решений.

Низкое качество проектных решений напрямую влияет на безопасность проектируемых объектов строительства. Тем не менее этот постоянно декларируемый при проектировании показатель и используемая в настоящее время система оценки качества проектирования носит формально отчетный оторванный от конкретного проектировщика характер и далека от выполнения целей своей основной функции. Два основных показателя, определяющих сегодня механизмы функционирования современной системы и проектирования [2] в целом таких как

стоимость проектных работ и сроки их исполнения без реальной связи с другими показателями при реализации функций системы проектирования, делает систему управления качеством проектных работ малоэффективной.

В РААСН в течении последнего десятилетия разрабатывается новая парадигма и принципы перехода к новым технологиям в отрасли, призванные обеспечивать реализацию программ и проектов саморазвития в различных сферах архитектурно- строительной деятельности так называемую доктрину City Planning [3-6].

Представляется, что эти общие принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека и используемые для их реализации механизмы могут быть применимы как принципы и методы к разработке научных основ проектирования, построения и функционирования интерактивных комплексов анализа и синтеза проектных решений и систем создания проектной, конструкторской и технологической документации технических объектов, образцов новой техники и технологий.

Сформулируем эти, принципы в рамках рассмотренной в [4] парадигмы City Planning, в применительно к исследуемой области систем автоматизированного проектирования.

Таблица 1 – Принципы создания моделей, методов и средств качественного проектирования объектов строительства

1 Формирование вектора целевых установок функционирования САПР	4 Совершенствование нормативной базы проектирования	7 Функции САПР для качественного проектирования
2 Соотношение внешнего и внутреннего в функционировании САПР	5 Знания как основа управления проектами	8 Надежность функционирования САПР
3 Количественная оценка (расчет) тройственного баланса в системе проектирования	6 Индикаторы оценки планируемых целевых показателей	9 Познание как основа обеспечения многоуровневых связей в системе проектирования

Принцип 1. Формулировка целевых установок в обеспечении эффективности функционирования системы автоматизированного проектирования направленного, например, на использование в проектной практике новых научных разработок, сокращение сроков создания и ввода в эксплуатацию новых технических решений, при высоком качестве проектных работ. Такое направление функционирования САПР полностью отвечает стратегическим задачам прорывного научно- технологического развития страны [1].

Принцип 2. Сопоставление "внешнего и внутреннего" в функционировании систем автоматизированного проектирования. Под "внешним" понимается вся сложившаяся среда жизнедеятельности человека определяющая и влияющая на уровень его физического духовного и социального здоровья и благополучия в целом. "Внутреннее" характеризует качественный уровень человеческого потенциала с позиций участия каждого человека в функционировании мест удовлетворения его потребностей, в рассматриваемом случае в функционировании системы автоматизированного проектирования- как место его профессиональной деятельности. Его участие может быть ограничено только личным или корпоративным интересами, или направленно и на общественные интересы жителей города, региона, и социально- экономиче-

ского развития страны в целом. Это соотношение личного и общественного не только влияет на качество выполняемых каждым человеком научно- творческих и проектных работ на основе максимального использования современных методов моделирования и инженерного анализа, но и является определяющим в совершенствовании процессов проектирования и технологической подготовки производства образцов новых архитектурно- конструктивных решений отрасли. Если выбор в соотношении внешнего и внутреннего сделан в направлении личных и узко корпоративных интересов, а реально механизмы, определяющие качество проектных работ, отсутствуют, будет и в дальнейшем сохраняться деградационный путь функционирования систем автоматизированного проектирования, а о прорывных технологиях в программах развития говорить вряд ли придется.

Принцип 3. Количественная оценка (расчет) тройственного баланса. В соответствии с указом Президента РФ №204 о национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 года [1] в сфере жилья и городской среды планируется реализация ряда целей и соответственно целевых показателей, в первую очередь, за счет стимулирования внедрения передовых технологий в проектировании и строительстве. Принцип 3 позволяет дать количественную оценку "движения" к этим показателям и применительно к САПР устанавливает тройственный баланс между человеком (в данном случае разработчиком САПР, проектировщиком), объектом применяемых в функционировании интерактивных комплексов новых технологий и объемом качественной безопасной комфортной городской среды и общественных пространств созданных и создаваемых при проектировании. Такой баланс может измеряться в долях от единицы или в % и рассчитываться для микрорайона, района, города, региона и страны в целом. Уместно отметить что отыскание баланса между человеком, местами удовлетворения его потребностей и качеством среды жизнедеятельности все более актуально в условиях, когда и в развитии российского общества и градостроительства антропоцентризм становится фундаментом политико- социальных преобразований всей нашей внутренней жизни. Тезис "прежде всего человек" нельзя понимать и определять только как материальную экспансию вещей.

Очевидно, что применительно к функционированию системы автоматизированного проектирования, тройственный баланс может рассчитываться применительно к уровню человеческого потенциала каждого человека работающего в сфере создания и функционирования систем автоматизированного проектирования, объемом и уровнем разрабатываемых и применяемых им новшеств в области архитектурно- строительного проектирования и объемом создаваемой с применением САПР качественной и безопасной среды жизнедеятельности человека.

Принцип 4. Нормативная база или законодательное закрепление тройственного баланса. Важнейшим условием сформулированной в п.1 целевого вектора (принцип 1), соотношением внешнего и внутреннего в функционировании САПР (принцип 2), обеспечении тройственного баланса (принцип 3) является наличие современной нормативной базы (принцип 4). Нормативная база призвана регулировать достижение тройственного баланса или обеспечить поэтапный переход к такому балансу. В настоящее время в стране обозначены серьезные изменения в создании нового поколения нормативной базы и механизмов ее использования в практике проектирования, в направлении обеспечения и ускорения внедрения новых результатов научных достижений. Госэкспертизой России, в соответствии с действующим законодательством [7] разрешается включать в проекты новые технические решения в том числе на сложные и уникальные объекты повышенного уровня ответственности КС-3, через разработку специальных технических условий [7]. К сожалению, на практике это используется часто не как механизм продвижения новшеств в создаваемые проекты, а как средство защиты от некоторых повышенных, по мнению заказчиков, требований норм.

Принцип 5. Знания, как основа управления проектами. Этот принцип включает в себя такие понятия как профессионализм, интеллект, достоверная информация, предположения по развитию и устранению факторов, мешающих развитию. Этот принцип определяет не только возможность продвижения в практику проектирования новых научных достижений в отрасли, но и в принципе возможность модернизации строительной отрасли в целом. К сожалению в этом направлении сегодня прогнозы экспертов самые не утешительные уровень знаний, образ мыслей и действий нынешних руководителей производств и ведомств настолько далека не только от общественных интересов города, но и от геополитических интересов страны. Вопрос о их низкой культуре и тем более в профессиональных качествах (особенно чиновников в регионах) постоянно обсуждается в СМИ см., например, [9]. Уровень подготовки инженеров вузами страны судя, по оценкам специалистов различных отраслей, в том числе и по направлению "строительство" [6, 10]. За последние 20-25 лет существенно снизился. Знания, полученные выпускниками вузов после бесконечно проводимых реформ в образовании, не только не позволяют выпускнику технического вуза без "разбега" начать профессиональную деятельность в отрасли и управлять траекториями проектирования, но и в принципе адаптироваться в сфере своей узкой профессиональной деятельности, после окончания вуза особенно когда речь идет о наиболее сложных направлениях этой деятельности, каким является, например, проектирование. Хороший проектировщик-конструктор — это не только пользователь автоматизированных расчетных комплексов, но в первую очередь владеющий новыми научными достижениями, заложенными в этих комплексах и способный модернизировать, дополнять и изменять системы автоматизированного проектирования под быстро меняющиеся технологии. Невозможно представить себе эффективное проектирование с применением BIM технологий [11-13] если, например, в той или иной области создания проектного продукта, например, в проектировании несущих конструктивных систем зданий и сооружений, проектировщик не понимает "игру сил" в рассчитываемом сооружении. Никакой самореализации и раскрытия таланта, никаких новых идей и новых проектных решений в этом случае ожидать не приходится.

Принцип 6. Индикаторы оценки планируемых факторов с достигнутыми в программах развития направленных на реализацию сформулированного в принципе 1 вектора развития. Прежде всего необходимы индикаторы оценки изменения уровня человеческого потенциала в отношении повышения его профессиональных значений, опыта, его отношения к общественным интересам, влияние на которые оказывает и его профессиональных знания и опыт, его отношения к общественным интересам, города, региона, жизнедеятельности, к эффективному применению нормативной базы для достижения тройственного баланса индикаторы объема внедрения научных достижений и новых технологий при проектировании объектов среды жизнедеятельности человека. Показательным в отношении своей бесперспективности, является состав индикаторов программ развития ряда отраслей и сфер деятельности особенно в регионах страны. Если в Указе Президента страны например №204 [1], представляющего собой самый высокий и наиболее общий уровень целевых показателей стратегического развития страны содержатся конкретные легко проверяемые качественные и количественные показатели достижения целей, то во многих например [15-16] программах регионального и отраслевого уровня индикаторы сформулированы таким образом, что позволяет чиновникам из года в год успешно отчитываться не решая никаких задач по достижению целей сформулированных в этих программах.

Принцип 7. При проектировании среды жизнедеятельности человека важно обеспечить реализацию всех функций города в широком смысле [4,5] путем наиболее эффективной реализации задач функций системы автоматизированного проектирования. Функционирование САПР связано с реализацией конкретных функций проектной деятельности. Условно по аналогии с функциями города [4] их можно разделить на следующие (рисунок 1): обеспечение проектной деятельности, получение профессиональных знаний в т.ч. обучения и переподготовки специалистов работающих в системе САПР, управление проектной деятельностью, со-

здание атмосферы творчества и раскрытие таланта каждого специалиста; создание атмосферы и внутренней потребности, экологическое здоровье и связи с природой; отдых и развлечения в гармонии с познанием мира и наконец центральная иерархия парных связей функция- милосердие. Начинаясь сегодня в системе образования идеи, в связи с продвижением в экономику цифровых технологий, сделать для каждого школьника и каждого студента индивидуальную траекторию обучения [16] не только лишает общего образовательного пространства и делает отношения бессердечными. Как в таких условиях обеспечивать коллективное творчество при функционировании САПР, а ведь современные проекты реализуются как правило коллективным творчеством. Следует отметить, что все перечисленные функции тесно связанными между собой (связи показаны на рисунке стрелочками), более того если эти функции не реализуются в системе САПР, то они проявляются, как функций анти типов (см. рисунок 1).



Рисунок 1 – Функции САПР для создания моделей, методов и средств качественного проектирования и схема их парных связей

За период перехода страны к рыночной экономике проявилось много негативных моментов в градостроительной деятельности в том числе и функционировании проектных организаций в отношении качественного проектирования для безопасной реализации функций города из -за утраты принципов и собственных функций системы проектирования. Практически полностью была разрушена система отраслевых институтов по проектированию производственных объектов различных отраслей промышленности, исчезли крупные институты хорошо знавшие "технологии отрасли" - разработчики типовых проектов, резко сократились головные институты разработчики типовых проектов и региональные институты проектирования гражданских объектов. Взамен этих структур появилось большое количество малых проектных контор, с числом специалистов меньшим чем число разделов, в проекте которые не в состоянии не только внести в проекты результаты новых научных достижений отрасли, но и профессионально пользоваться нормативными документами и программными продуктами нового поколения.

Принцип 8. Надежность функционирования САПР. Наличие в проектных организациях высококвалифицированных известных в отрасли специалистов, имеющих возможность в общем пространстве создавать научно-технические советы, проводить свои профессиональные конференции и семинары по обсуждению профессиональных вопросов (нечто вроде неформального клуба по интересам) создаются традиции и преемственность в организации. Таким способом постоянно повышается квалификация и накапливается профессиональный опыт как отдельных специалистов, так и всех членов коллектива проектировщиков обеспечивая тем самым не только надежность функционирования системы проектирования, но высокую ответственность каждого перед всем коллективом и заказчиком, гордость за причастность к работе в таком коллективе, бесконфликтные взаимоотношения между работающими. Безопасность и высокое качество продукции такой организации гарантировано. И здесь уместно вспомнить ответ одного из разработчиков МКС "Буран" В.М. Филина, на вопрос, который спросил журналиста TV "Россия-Культура" о том, что в годы становления и подъема нашей космонавтики, несмотря на то что вся эта техника созда-

валась впервые и ракеты не падали, а сегодня они падают, ответил: "тогда качество было внутри каждого из нас и качеству не помогут ни вливание денег, ни прокуратуры, ни судьи, ни другие такого рода методы". В системе "социо-техно-биосферы" каковой является и рассматриваемая система САПР, без достижения соответствующего уровня человеческого потенциала, без коллективного творчества и социальной ответственности каждого человека обеспечить качество, безопасность и эффективное функционирование такой системы и безопасность продукции производимой в ее рамках продукции невозможно.

Принцип 8 системно связан со всеми сформулированными здесь принципами и, если какие-то принципы не реализуются система не может эффективно функционировать. Более того, если не все обозначенные принципом 7 функции реализуются позитивно, то они проявляются негативно, и система деградирует. Например, если в системе не реализуется функция подготовки и переподготовки специалистов, то происходит обратное- деградация профессионального уровня работников организации их маргинализация, которая, кстати, не имеет ни социальных ни профессиональных границ.

Принцип 9. Познание, управление САПР на основе постоянно обновляющихся знаний при постановке целей, реализации проектных задач и достижении выполнения индикаторов программ развития становится бесконфликтным. Познание обеспечивает установление многоуровневых связей внутри и вне системы проектирования. Управление же творческим коллективом "силовой" чисто на иерархической основе, с жестким расположением должностных и функциональных обязанностей, в том числе и на основе так называемых "систем качества", практически исключает развитие творческих направлений, тормозит создание и продвижение новых технологий и способствует другим негативным проявлениям. Таким образом, изложенное выше представляет собой алгоритм повышения эффективности функционирования систем автоматизированного проектирования для обеспечения модернизации строительной отрасли и повышения безопасности и качества строительства, стимулирования внедрения передовых технологий в проектировании и строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Указ президента РФ № 204 от 7 мая 2018 года. URL: <http://docs.cntd.ru/document/557309575>.
2. Федеральный закон "О контрактной системе в сфере закупок товаров, работ, услуг для обеспечения государственных и муниципальных нужд" от 05.04.2013 №44-ФЗ (последняя редакция).
3. Ильичев В.А., Каримов А.М., Колчунов В.И., Алексашина В.В., Бакаева Н.В., Кобелева С.А. Предложения к проекту доктрины градостроительства и расселения (стратегического планирования городов City Planning) // Жилищное строительство. 2012. №1. С. 2 -10.
4. Ильичев В.А., Емельянов С.Г., Колчунов В.И., Гордон В.А., Бакаева Н.В. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека: научная монография. М: Изд-во АСВ, 2015. 184 с.
5. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. Реконструкция урбанизированных территорий на принципах симбиоза градостроительных систем и их природного окружения // Промышленное и гражданское строительство. 2018. №3. С. 4-11.
6. Kolchunov V., Fedorov S., Fedorova P. Tomorrow of biospheric compatibility of cities- the subject of education today // International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3SSettlements) Proceeding, 7th - 8th March 2018 Technische Universität München (TUM), Germany. Pp. 109-112.
7. Федеральный закон "Технический регламент безопасности зданий и сооружений" от 30.12.2009 №384-ФЗ (с изм. от 02.07.2013 №185-ФЗ).
8. О порядке разработки и согласования специальных технических условий для разработки проектной документации на объект капитального строительства приказ Минстроя РФ от 15.04.2016 № 248/пр.
9. Скрывать больше нечего. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/plus5copeek/skrivat-bolshe-nechego-5be910f0f9cb6200ases9510>.
10. Ильичев В.А., Колчунов В.И., Бакаева Н.В. О концепции и стандартах реформирования современного архитектурно- строительного образования // Стратегические приоритеты. 2016. №1. С. 44-56.
11. Тян В.В. Не затянулось ли наше знакомство с BIM-технологиями // Известия вузов. Строительство. 2016. №1. С. 345.

12. Кукушкин И.С. Пути автоматизации проектирования при использовании технологической связи: SMART3D - TEKLA STRUCTURES - SCAD OFFICE // International Journal for Computational Civil and Structural Engineering. 2016. №9. С.145-156.
13. Дронов Д.С., Киметова Н.Р., Ткаченко В.П. Проблемы внедрения BIM-технологий в России // Синергия наук. 2017. №10. С. 529-549.
14. Муниципальная программа "Формирование современной городской среды в муниципальном образовании г.Курск на 2018-2022 годы". URL: <http://docs.cntd.ru/document/446589176>
15. Государственная программа Орловской области "Формирование современной городской среды на территории Орловской области на 2018-2022 годы". URL: <http://docs.cntd.ru/document/446680862>.
16. Разводовский Д.Е., Шулятьев С.О. Применение BIM в геотехнике // Жилищное строительство. 2018. №11. С.3-9.

Федоров Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), г. Москва, Россия,
канд. техн. наук, доцент кафедры информационных систем технологий и автоматизации в строительстве,
E-mail: fedorovss@mgsu.ru

FEDOROV S.S.

PRINCIPLES OF CREATION OF MODELS AND TECHNOLOGIES OF HIGH-QUALITY DESIGNING OF CONSTRUCTION OBJECTS

The problem of increase in effectiveness of functioning of computer-aided engineering systems and quality management of projection in the conditions of the technological capabilities of the design organizations, which changed now, is represented extremely important. In this regard in structure the principles of creation of models, technologies and algorithms of high-quality projection of construction objects on the basis of the new paradigm biosfero the compatible and developing person of the city (city planning) created and developed now in the Russian academy of architecture and structural sciences are formulated. A key feature of estimated models is inclusion in the system of special mechanisms of interaction the designer - a system, sequentially interdependent principles constructed on a system hierarchy of points, positions - actions when functioning a CAD for quality ensuring project works and safety of designed projects.

Keywords: computer-aided engineering systems, biospheric compatibility, quality of projection, principles of projection.

REFERENCES

1. Ukaz prezidenta RF No 204 ot 7 maya 2018 goda [The decree of the Russian President No. 204 of May 7, 2018]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/557309575>. (rus)
2. Federal'nyy zakon "O kontraktnoy sisteme v sfere zakupok tovarov, rabot, uslug dlya obespecheniya gosudarstvennykh i munitsipal'nykh nuzhd" ot 05.04.2013 No 44-FZ [Federal Law "On the contract system in the field of procurement of goods, works, services for state and municipal needs" dated 05.04.2013 No 44-FZ]. (rus)
3. Il'ichev V.A., Karimov A.M., Kolchunov V.I., Aleksashina V.V., Bakayeva N.V., Kobeleva S.A. Predlozheniya k proyektu doktriny gradostroitel'stva i rasseleniya (strategicheskogo planirovaniya gorodov City Planning) [Proposals to the project of the doctrine of urban planning and settlement (strategic planning of cities City Planning)]. *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2012. No 1. Pp. 2 -10. (rus)
4. Il'ichev V.A., Yemel'yanov S.G., Kolchunov V.I., Gordon V.A., Bakayeva N.V. Printsipy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyy i razvivayushchiy cheloveka: nauchnaya monografiya [Principles of the transformation of the city into a biosphere-compatible and developing person: a scientific monograph]. Moscow: Publishing ASV, 2015. 184 p. (rus)
5. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakayeva N.V. Rekonstruktsiya urbanizirovannykh territoriy na prin-tsipakh simbioza gradostroitel'nykh sistem i ikh prirodnogo okruzheniya [Reconstruction of urbanized territories on the principles of symbiosis of urban planning systems and their natural environment]. *Promyshlennoye i grazhdanskoye stroi-tel'stvo*. 2018. No 3. Pp. 4-11. (rus)

6. Kolchunov V., Fedorov S., Fedorova P. Tomorrow of biospheric compatibility of cities- the subject of education today // International Conference on Smart, Sustainable and Sensuous Settlements Transformation (3SSettlements) Proceeding, 7th - 8th March 2018 Technische Universität München (TUM), Germany. Pp. 109-112.
7. Federal'nyy zakon "Tekhnicheskiy reglament bezopasnosti zdaniy i sooruzheniy" ot 30.12.2009 No 384-FZ (s izm. ot 02.07.2013 №185-FZ) [Federal Law "Technical Regulations for the Safety of Buildings and Structures" dated December 30, 2009 No. 384-FZ (amended as of July 2, 2013 No. 185-FZ)]. (rus)
8. O poryadke razrabotki i soglasovaniya spetsial'nykh tekhnicheskikh usloviy dlya razrabotki proyektnoy dokumentatsii na ob'yekt kapital'nogo stroitel'stva prikaz Ministroya RF ot 15.04.2016 № 248/pr [On the order of development and coordination of special technical conditions for the development of design documentation for a capital construction object, order of the Ministry of Construction of the Russian Federation of April 15, 2016 No. 248 / pr]. (rus)
9. Skryvat' bol'she nechego [There is nothing more to hide]. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/plus5copeek/skryvat-bolshe-nechego-5be910f0f9cb6200acec9510>. (rus)
10. Il'ichev V.A., Kolchunov V.I., Bakayeva N.V. O kontseptsii i standartakh reformirovaniya sovremen-nogo arkhitekturno- stroitel'nogo obrazovaniya [On the concept and standards of reforming modern architectural and construction education]. *Strategicheskkiye priority*. 2016. No 1. Pp. 44-56. (rus)
11. Tyan V.V. Ne zatyanylos' li nashe znakomstvo s BIM-tekhnologiyami [Has our acquaintance with BIM-technologies dragged on?]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2016. No 1. Pp. 345. (rus)
12. Kukushkin I.S. Puti avtomatizatsii proyektirovaniya pri ispol'zovanii tekhnologicheskoy svyazi: SMART3D - TEKLA STRUCTURES - SCAD OFFICE [Ways to automate design using technological communication: SMART3D - TEKLA STRUCTURES - SCAD OFFICE]. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*. 2016. No 9. Pp. 145-156. (rus)
13. Dronov D.S., Kimetova N.R., Tkachenkova V.P. Problemy vnedreniya BIM-tekhnologiy v Rossii [Problems of introduction of BIM technologies in Russia]. *Sinergiya nauk*. 2017. No 10. Pp. 529-549. (rus)
14. Munitsipal'naya programma "Formirovaniye sovremennoy gorodskoy sredy v munitsipal'nom obra-zovanii g. Kursk na 2018-2022 gody" [Municipal program "Formation of the modern urban environment in the municipal education of Kursk for 2018-2022 years"]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/446589176> (rus)
15. Gosudarstvennaya programma Orlovskoy oblasti "Formirovaniye sovremennoy gorodskoy sredy na territorii Orlovskoy oblasti na 2018-2022 gody" [The state program of the Oryol region "Formation of the modern urban environment in the territory of the Oryol region for 2018-2022 years."]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/446680862>. (rus)
16. Razvodovskiy D.Ye., Shulyat'yev S.O. Primeneniye BIM v geotekhnike [Application of BIM in geotechnics] // *Zhilishchnoye stroitel'stvo*. 2018. No 11. Pp. 3-9. (rus)

Fedorov Sergey S.

Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russia,
candidate in tech. sc., Department of Information Systems, Technology and Automation in Construction
E-mail: fedorovss@mgsu.ru

ХИЦКОВ А.А., ИВАНОВ И.М., КРАМАР Л.Я.

ВЛИЯНИЕ ГЛИНИСТЫХ ЧАСТИЦ РАЗЛИЧНЫХ ПЕСКОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОЛИКАРБОКСИЛАТНЫХ СУПЕРПЛАСТИФИКАТОРОВ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Работа посвящена исследованию влияния глинистых минералов из песков различных месторождений на эффективность работы поликарбоксилатных суперпластификаторов в цементных системах и на свойства цементного камня. Представлены результаты исследования составов глинистых минералов в песках разных месторождений Челябинской области. Установлено, что эффективность поликарбоксилатных суперпластификаторов в большей степени снижает глинистый минерал монтмориллонит. Проведена оценка возможности использования различных песков, содержащих до 2% глинистых минералов, с целью получения высокофункциональных бетонов. Для обеспечения высокой эффективности поликарбоксилатных суперпластификаторов в бетонах на цементных вяжущих необходимо применять мытые пески.

Ключевые слова: поликарбоксилатный суперпластификатор, песок, глинистые частицы, цементное тесто, цементный камень, структура цементного камня.

Введение

В 80-тые годы XX века были разработаны поликарбоксилатные суперпластификаторы (РСЕ), являющиеся новым поколением высокоэффективных пластифицирующих добавок [1]. РСЕ - это полимерные добавки, состоящие из полиэтиленоксида (ПЭО) и привитых к нему акриловых цепей. Акриловые цепи в водном растворе провоцируют стерический эффект между частицами цемента и молекулами РСЕ. С помощью этого уникального механизма, РСЕ демонстрирует превосходную водоредуцирующую способность, которая, в зависимости от его поликонденсации, может достигать 40% [2, 3].

Современные РСЕ добавки значительно изменяются и усложняются введением метакриловой кислоты, эфиров метакрилата, сополимеров стирола, виниловых эфиров и других полимеров при использовании способов водной радикальной сополимеризации, этерификации, переэтерификации и др. [4, 5].

Большинство промышленных суперпластификаторов на основе РСЕ, благодаря особенностям их строения и стерическому эффекту, кроме высокой пластифицирующей способности, могут вызывать эффект замедления гидратации и твердения цемента, способствовать длительному сохранению подвижности, активно взаимодействовать с сульфатными, алюминатными фазами цемента, а также с глинистыми минералами заполнителей. Все это оказывает не только положительное влияние на цементные смеси, но и способно снижать эффективность добавок пластификаторов [6,7,8,9]. Известно, что каолиновые глины и гидрослюды незначительно влияют на подвижность бетонных смесей с РСЕ [7]. Но, монтмориллониты и бентониты, кроме поглощения за счет интеркаляции значительного количества РСЕ, могут создавать дополнительно вокруг заполнителей глинистые пленки, которые способствуют снижению сцепления заполнителей с поверхностью цементного камня и, как следствие, прочности. Негативное воздействие на свойства цементного камня оказывают также глинистые примеси в виде комков из-за подверженности их значительному набуханию при увлажнении и усадке при высыхании, что характерно для каолиновых глин.

А.И. Вовк [10, 11] и другие исследователи подтверждают, что поликарбоксилатные суперпластификаторы в цементных и бетонных смесях осаждаются на новообразованиях гидросиликатов, гидроалюминатов и гидроалюмоферритов кальция. Рассматривая влияние глинистых минералов на эффективность поликарбоксилатных суперпластификаторов, многие ис-

следователи в основном изучают их влияние на изменение подвижности цементных растворов и бетонных смесей, не рассматривая воздействие на свойства цементного камня и бетона, такие как прочность, пористость, структуру и фазовый состав гидратов, особенно когда используют пески, содержащие примеси до 4-5% глинистых и слюдистых минералов.

Адсорбция суперпластификаторов на гидросиликатных фазах протекает медленнее, чем на алюминатных, и возрастает с увеличением его молекулярной массы. Кроме того, РСЕ адсорбируясь на гидросиликатах разной основности способствует образованию аморфизированных структур, которые повышают их устойчивость к кристаллизации. Но следует отметить, что высокоосновные слабозакристаллизованные гидросиликатные фазы, адсорбируя на себе поликарбоксилаты, кристаллизуются в процессе эксплуатации значительно быстрее, чем ГСК пониженной основности. Это способствует в дальнейшем активизации процесса старения их структуры и снижает стойкость бетона к воздействиям окружающей среды, в то время как структура из низкоосновных гидросиликатов длительно находится в аморфизированном состоянии [12, 13, 14].

Все это требует дополнительных исследований.

1. Цель и задачи исследования

Цель работы – исследование влияния глин, содержащихся в песках месторождений Челябинской области, на эффективность работы поликарбоксилатного суперпластификатора и особенности формирования структуры и свойств цементного камня.

Для этого необходимо решить следующие задачи:

- изучить фазовый состав глинистых песков разных месторождений;
- определить влияние глинистых в песках на свойства цементного теста;
- исследовать воздействие глин разного генезиса, работающих совместно с поликарбоксилатным суперпластификатором, на прочность, структуру и фазовый состав цементного камня;
- оценить возможность использования песков с повышенным содержанием глин в производстве бетонов с применением поликарбоксилатного суперпластификатора.

2. Материалы и методы исследования

2.1 Исходные материалы

Для проведения исследований применяли портландцемент ЦЕМ I 42,5Н по ГОСТ 31108-2016 (ПЦ 500-Д0 по ГОСТ 10178-85), производства ООО «Дюккерхофф Коркино Цемент». Клинкер этого цемента имеет следующий минералогический состав: C3S – 61,6...64,6 %; β-C2S – 22,9...23,0 %; C3A – 5,4...6,2 %; C4AF – 13,5...16,7 %.

Для получения глинистых и илистых, использовали пески Челябинской области месторождений Белоярского, Калачевского и Хлебороб, которые соответствуют ГОСТ 8736–85 и содержат глинистые и илистые частицы в количестве от 2 до 4%.

Для проведения исследований применяли поликарбоксилатный суперпластификатор Master Glenium ACE 430 (далее ACE 430), производитель ООО «BASF Строительные системы», Россия, г. Москва. Его применение позволяет получить водоредуцирующий эффект до 40% или обеспечить высокую подвижность, сохраняемость бетонной смеси и другие свойства, а также снизить тепловыделение в процессе гидратации цемента, повысить в раннем и марочном возрасте твердения прочностные характеристики цементного камня и бетона. Выше перечисленные преимущества такого суперпластификатора позволяют значительно сократить затраты на производство высокофункциональных бетонов, но о влиянии на эффективность этой добавки и свойства цементного камня глинистых минералов из песка изучены недостаточно.

Воду применяли в соответствии с ГОСТ 23732-2011.

2.2 Методы исследования

Контроль качества песка проводили согласно ГОСТ 8736-2014.

Нормальную густоту цементного теста определяли по ГОСТ 30744-2001, а расплыв цементного теста нормальной густоты оценивали согласно EN 1015, который составил $9 \pm 0,5$ см. Далее, при введении суперпластификатора ACE 430 подвижность цементного теста с добавками глин измеряли также согласно EN 1015. Для этого цемент массой 300 г. высыпали в сферическую чашу, добавляли 72 г. воды ($B/C = 0.24$) и перемешивали вручную в течение 1 мин., затем выдерживали 1 мин. в покое и снова перемешивали в течение 2 мин. Цементное тесто после перемешивания укладывали в конус Vicat (высота 40 мм, верхний диаметр 70 мм, нижний диаметр 80 мм), установленный на стеклянную пластину, далее конус поднимали. Полученный расплыв цементного теста измеряли дважды в перпендикулярных направлениях, затем усредняли два значения для получения конечного результата.

Прочность цементного камня при сжатии определяли на образцах – кубиках с ребром 20 мм, величину открытой пористости камня оценивали по водопоглощению в соответствии ГОСТ 12730.3-78. Изучение фазового состава глинистых примесей в песке и особенностей структуры цементного камня проводили с применением дериватографии, рентгенофазового анализа и электронной микроскопии. Для этого использовали дериватограф системы «Luxx STA 409 PC» фирмы «Netzsch», дифрактометр ДРОН-3, модернизированный приставкой PDWin, электронную микроскопию проводили на растровом электронном микроскопе Jeol JSM-700 1F. Для расшифровки полученных дериватограмм и рентгенограмм применяли справочные данные [15].

Исследование влияния глинистых из песков разных месторождений на свойства цементного теста и камня проводили с применением математического планирования эксперимента. Основными факторами были приняты: X - количества вводимого суперпластификатора от 0 до 0,8% и Y- количество глинистых от 0 до 4%. Все дозировки представлены в расчете на массу цемента. В качестве откликов приняты: характеристики подвижности цементного теста по расплыву из конуса Vicat; свойства цементного камня, определяемые по прочности в 1, 3, 7 и 28 сутки твердения, водопоглощению (открытая пористость), количеству содержания гидроксида кальция и химически связанной воды. Особенности фазового состава цементного камня уточняли применением рентгеновского метода и электронной микроскопии.

Глинистые минералы вводили в состав цементного теста до 4% от массы цемента. Исходили из того, что согласно ГОСТ 10268—80 содержание глинистых и илистых в песках, в зависимости от условий эксплуатации конструкций, должно быть: для надводных бетонов — 3%; для зоны с переменным уровнем воды — 2%. Необходимо также учитывать, что в бетонных смесях отношение цемента к песку, как правило, составляет 1:1,5...2, из чего следует, что в цементном тесте глинистые могут присутствовать в количестве до 4...6%.

3. Установление минералогического состава глинистых частиц исследуемых песков

Установление минерального состава присутствующих в песках глинистых и илистых проводили с применением ДТА и РФА. Расшифровка полученных результатов позволила установлено следующее.

3.1 Песок Калачевского месторождения

При изучении глинистых из песков Калачевского месторождения (рис. 2) установлено, что они в основном представлены монтмориллонитом и имеют на дериватограмме потери при 50-150 0С, связанные с удалением адсорбционной воды; при 200-2350С – межпакетной воды; в интервале 500 – 760 0С - конструкционной воды, а потери после 800 0С указывают на разрушение кристаллической решетки в монтмориллоните.

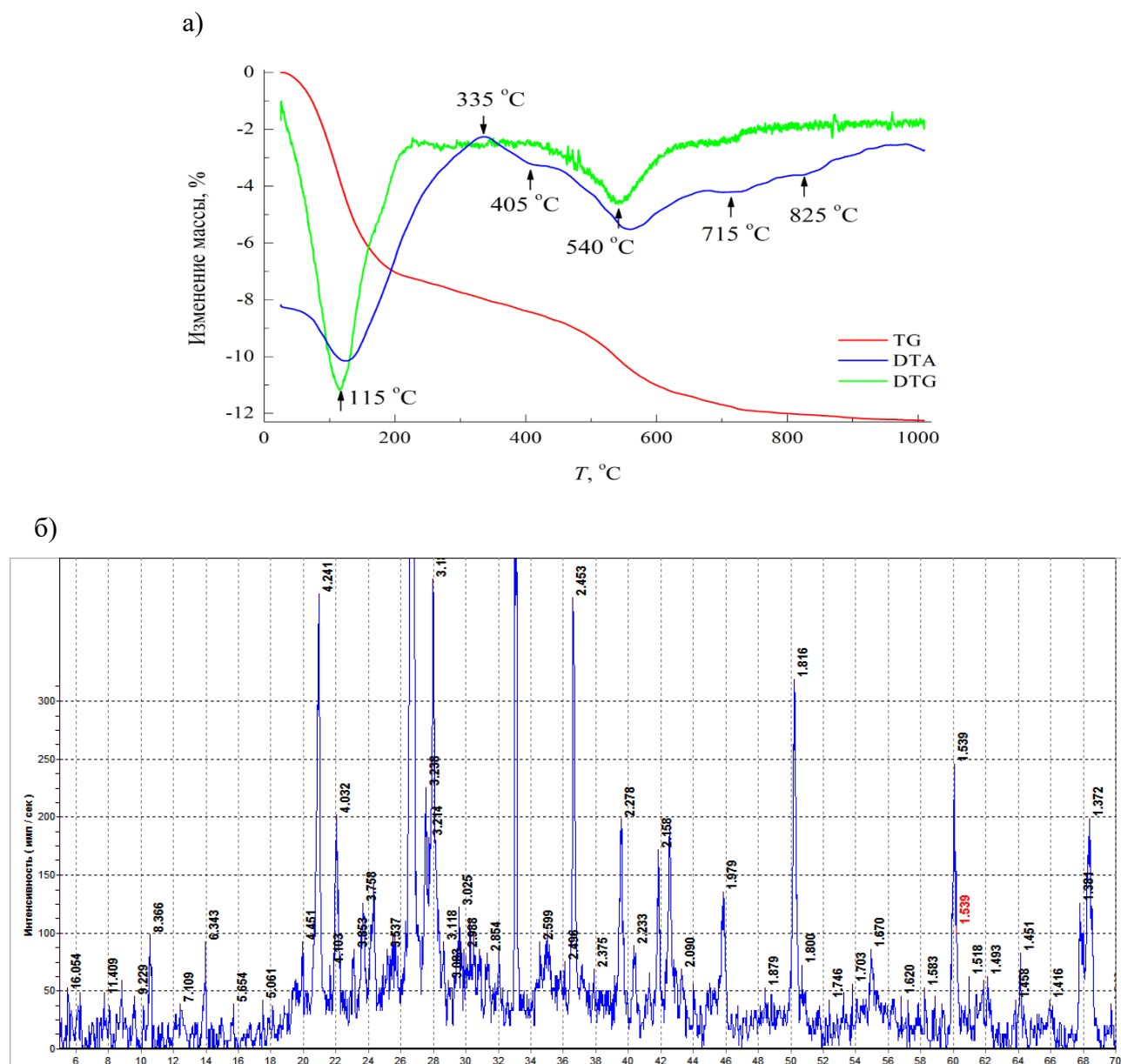


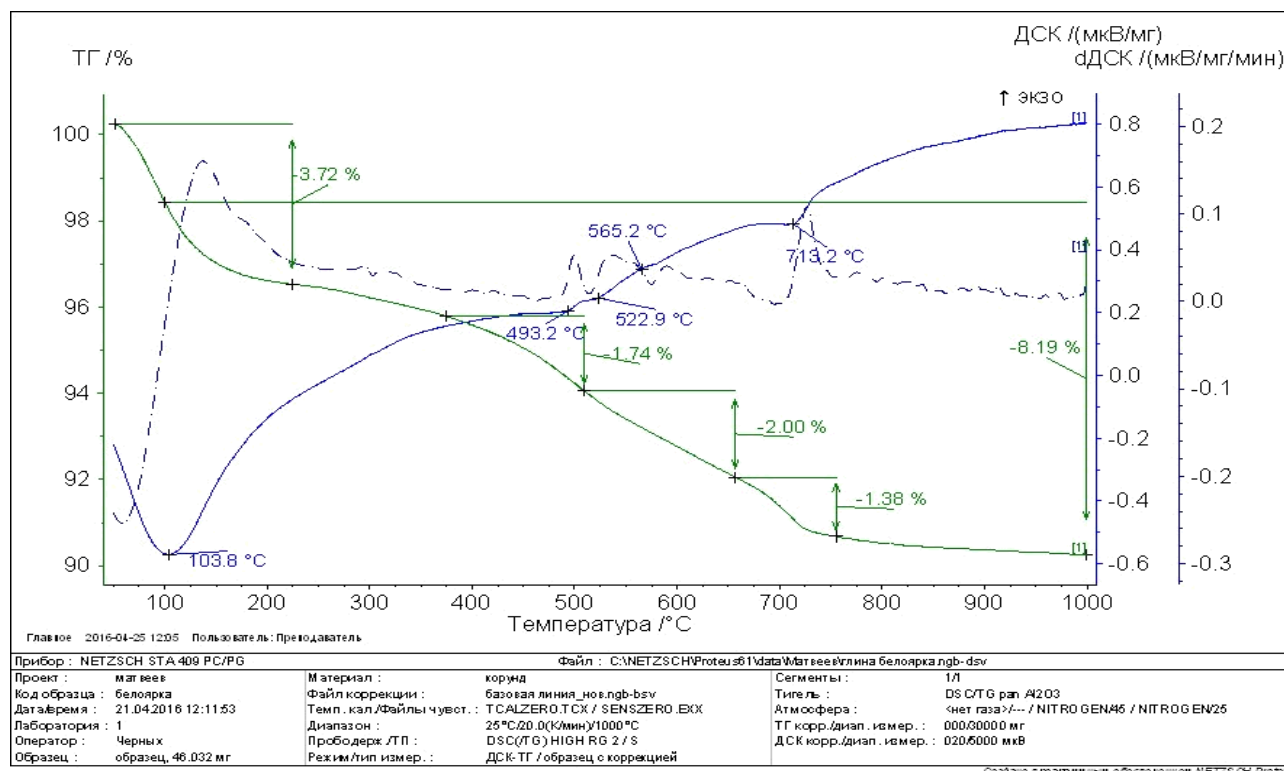
Рисунок 1 – Дериватограмма (а) и рентгенограмма (б) глинистых из песка Калачевского месторождения

Кроме этого, согласно экзотермическому эффекту при 340 °C, в глинистых присутствует еще и примесь аморфного кремнезема. Рентгенофазовый анализ подтверждает присутствие в песках Калачевского месторождения в основном глины монтмориллонитовой группы, с дифракционными максимумами $d/n = 6,30; 4,47; 4,05; 3,42 \text{ \AA}$ [18].

3.2 Песок Белоярского месторождения

Глинистые из песка Белоярского месторождения (рис. 2) содержат в основном гидрослюда, имеющие на дериватограмме потери, связанные при 105-125 °C с удалением межслоевой воды; при 490 °C – с частичным удалением воды из кристаллической решетки и при 715 °C – разрушение кристаллической решетки гидрослюд. В пробах присутствуют примеси хлоритов. Рентгенофазовый анализ подтвердил, что основной составляющей глинистых песков Белоярского месторождения являются гидрослюда с дифракционными отражениями $d/n = 9,45; 4,56; 3,67; 3,53; 3,34; 3,02; 2,90; 2,85; 2,45; 1,66; 2,02 \text{ \AA}$.

а)



б)

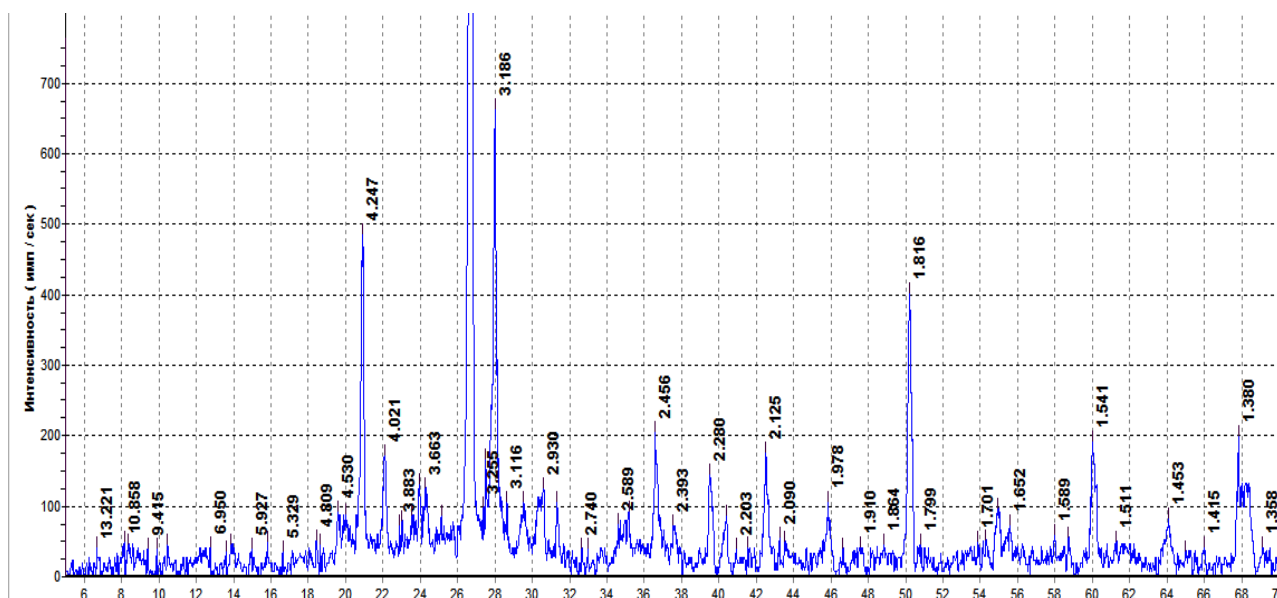
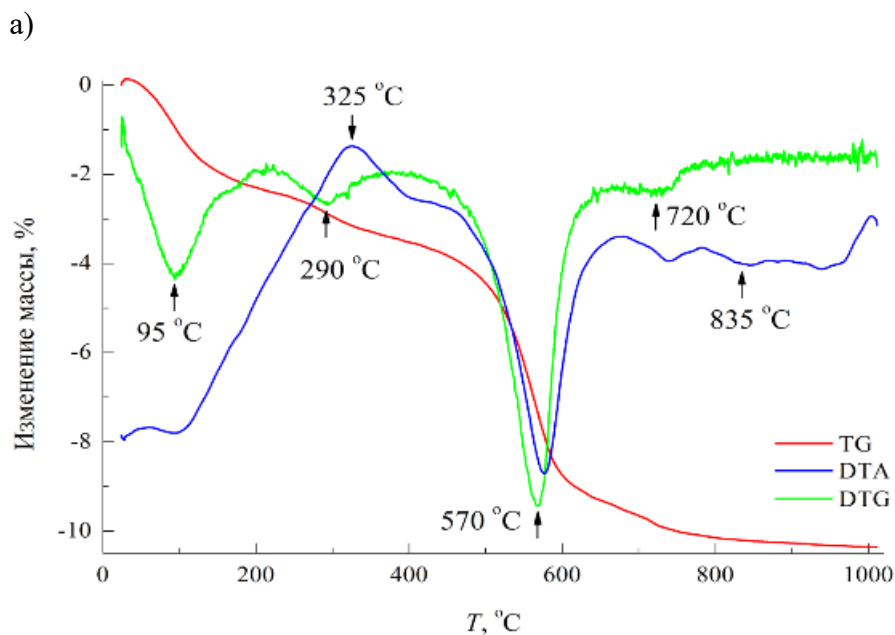


Рисунок 2 – Дериватогамма (а) и рентгенограмма (б) глинистых песка Белоярского месторождения

3.3 Песок месторождения Хлебороб

Исследование глинистых песков месторождения Хлебороб, на основании данных дериватографического и рентгенофазового анализов (рис. 5 и 6), позволяет установить следующее.



б)

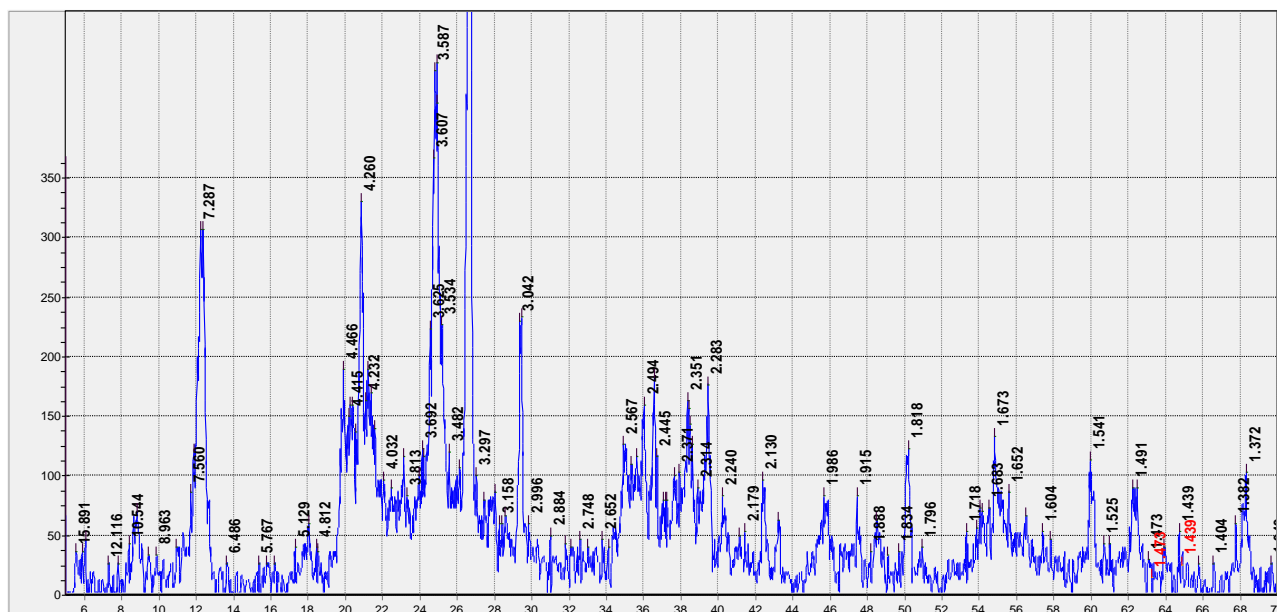


Рисунок 3 – Дериватограмма (а) и рентгенограмма (б) глинистых из песка месторождения Хлебороб

Согласно потерям массы, при 95 - 150, 290 °C, при 720 и 835 °C глинистые включения в песке содержат незначительное количество монтмориллонита, экзотермический эффект при 325 °C свидетельствует о присутствии в пробе некоторого количества аморфного кремнезема. Однако, основная потеря связанной воды из глинистых и пылеватых этого песка происходит при 570 °C, что говорит о присутствии в них в основном минералов типа каолинита. По данным РФА

глинистые, содержащиеся в песках месторождения Хлебороб, в основном представлены каолинитом – $d/n = 7,14; 4,36; 4,17; 3,57; 2,48; 2,33; 2,29; 1,99 \text{ \AA}$ и дикиитом – $d/n = 7,24; 4,48; 3,59; 2,59; 2,53; 2,34; 1,88, 1,66; 1,56 \text{ \AA}$.

4. Исследование влияния определённых глинистых минералов на реологию цементного теста и основные свойства цементного камня

4.1 Влияние глинистых минералов на подвижность цементного теста

Исследование влияния дозировок глинистых из разных песков на подвижность цементного теста при различных дозировках суперпластификатора (рис. 4) позволили установить следующее.

Наиболее активно снижают подвижность цементного теста монтмориллонитовые глины из песков Калачевского месторождения. Особенно интенсивно они снижают подвижность при введении глинистых более 2%, уменьшая её в 1,5 раза при максимальной дозировке суперпластификатора.

Исследование глинистых из песков Белоярского месторождения (рис. 4), показали, что присутствие слюдястых минералов в песках не оказывает влияния на подвижность цементного теста. За его подвижность в основном отвечает суперпластификатор. Полученные результаты подтверждают данные L. Lei и J. Plank [2].

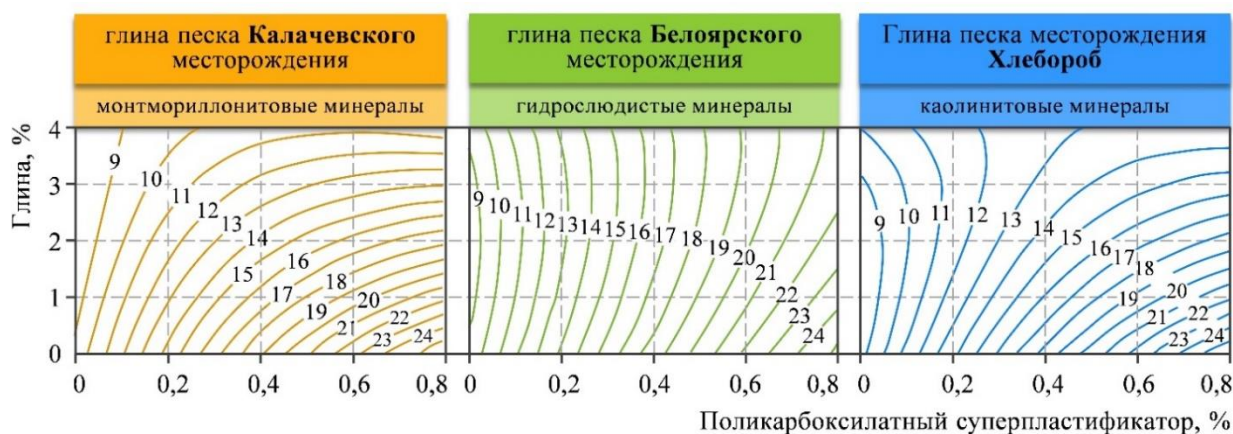


Рисунок 4 – Влияние дозировок глины и суперпластификатора на подвижность цементного теста

Каолинит так же, как и гидрослюды, при введении до 0,4% суперпластификатора вызывает незначительное снижение подвижности цементного теста (рис. 4). Следовательно, наиболее активно снижает эффективность суперпластификаторов присутствие глинистых монтмориллонитовой группы.

Следует отметить, что все исследуемые глинистые минералы особенно интенсивно снижают подвижность, при использовании повышенных дозировок поликарбоксилатного суперпластификатора, что является весьма важным аспектом при производстве высокофункциональных бетонов, для достижения высокого водоредуцирования которых приходится использовать повышенную дозировку суперпластификатора.

4.2 Влияние глинистых минералов на прочность цементного камня

Исследование темпов твердения цементного камня (рис. 5) показало, что больше всего снижают прочность в начальные и конечные сроки твердения глины, содержащие монтмориллонит. Так, к 28 суткам нормального твердения прочность цементного камня при введении

монтмориллонита снижается на 17%. Согласно ГОСТ 24211-2008 «Добавки для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия» допускается использовать суперпластификаторы для увеличения подвижности при снижении прочности не более чем на 5%. Из этого следует, что применение в производстве бетонов поликарбоксилатных суперпластификаторов, при использовании песков, содержащих монтмориллонитовые глины, весьма неэффективно.

Глинистые из песков Белоярского месторождения и месторождения Хлебоборб, содержащих соответственно гидрослюда и каолинит, в ранние сроки твердения (до 7 суток) несколько снижают прочность, однако дальнейшее твердение образцов цементного камня с указанными минералами существенным снижением прочности не сопровождается. В целом, все исследуемые глины при работе с поликарбоксилатным суперпластификатором снижают прочность цементного камня в 1 сутки твердения, как и при использовании монтмориллонитовых глин, до 33%.

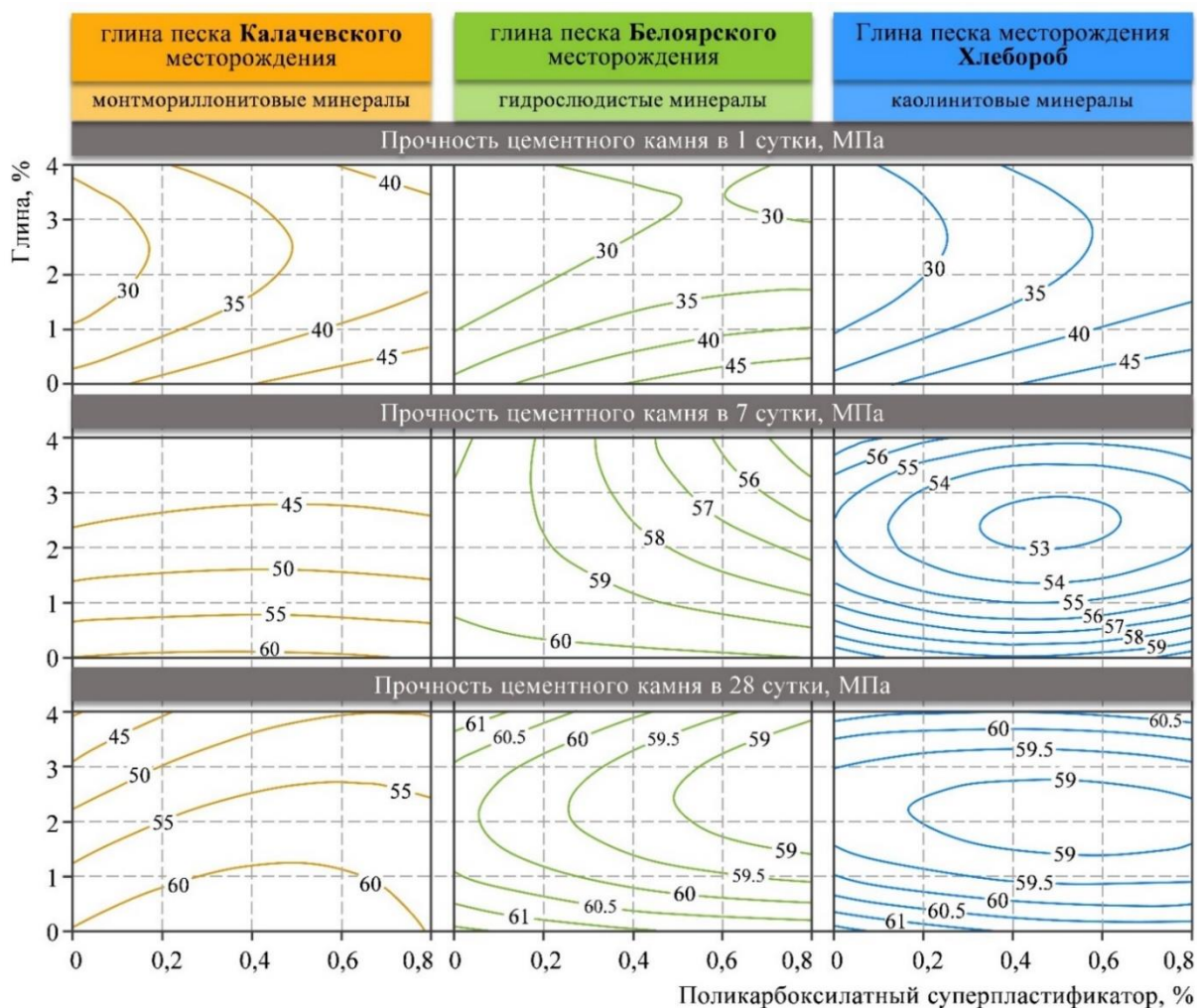


Рисунок 5 – Влияние дозировок глины и суперпластификатора на прочность цементного камня в 1, 7 и 28 суток нормального твердения

Гидрослюда снижают прочность цементного камня с АСЕ 430 только на 6,5% в 7 суток и на 3% в 28 суток твердения. Каолинитовая глина способствует снижению прочности в 7 суток твердения на 11,7%, но к 28 суткам твердения снижение прочности цементного камня, пластифицированного АСЕ 430 не превышает также 3%.

Таким образом, применение песков, содержащих до 2% глинистых частиц, состоящих из каолинита и гидрослюд, не снижает эффективность использования поликарбоксилатных суперпластификаторов.

4.3 Влияние глинистых минералов на открытую пористость ЦК

Выявлено, что все глинистые минералы, а также поликарбоксилатный суперпластификатор несколько снижают открытую пористость цементного камня (рис. 6).

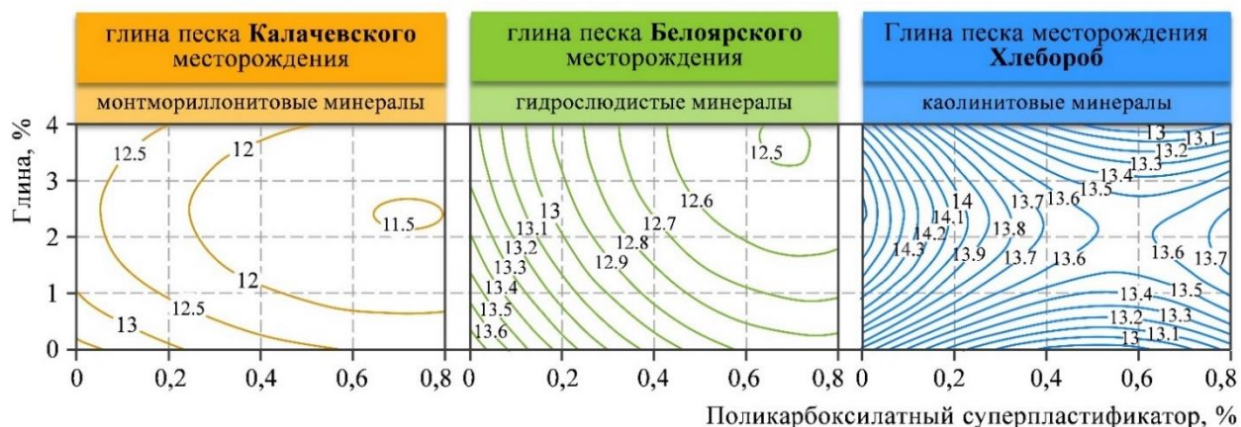


Рисунок 6 – Влияние дозировки глины и суперпластификатора на водопоглощение (открытую пористость) цементного камня

При повышенной дозировке пластификатора монтмориленитовые минералы способствуют снижению открытой пористости ЦК (на 2%), в меньшей степени на пористость влияют гидрослюды (1,2%) и каолинит (1%).

Вероятно, все исследуемые глины снижают пористость цементного камня за счет коагуляции микропор, а поликарбоксилатный суперпластификатор только содействует этому посредством равномерного распределения и плотного встраивания глинистых частиц в микропоры цементного камня.

4.4 Влияние глинистых минералов на фазовый состав ЦК

Изменения содержания гидроксида кальция и химически связанной воды, полученные с применением дериватографии, представлены на рис. 7.

При повышенной дозировке суперпластификатора, особенно в отсутствии глинистых, во всех комплексах наблюдается снижение содержания как $\text{Ca}(\text{OH})_2$, так и химически связанной воды. Это объясняется небольшим водоотделением при изготовлении образцов цементного камня с повышенной дозировкой поликарбоксилатного суперпластификатора, в результате чего фактическое водоцементное отношение несколько понизилось. При пониженном В/Ц для насыщения среды до $\text{pH} \approx 12$, необходимого для активной гидратации цемента и стабильного существования гидратных фаз, требуется меньше ионов кальция, что и сопровождается снижением содержания $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в ЦК. Кроме того, пониженное В/Ц приводит к небольшому снижению степени гидратации, которая проявляется пониженным содержанием химически связанной воды. Эти положения подтверждаются ранее проведенными исследованиями о влиянии В/Ц на процессы гидратации цемента [16].

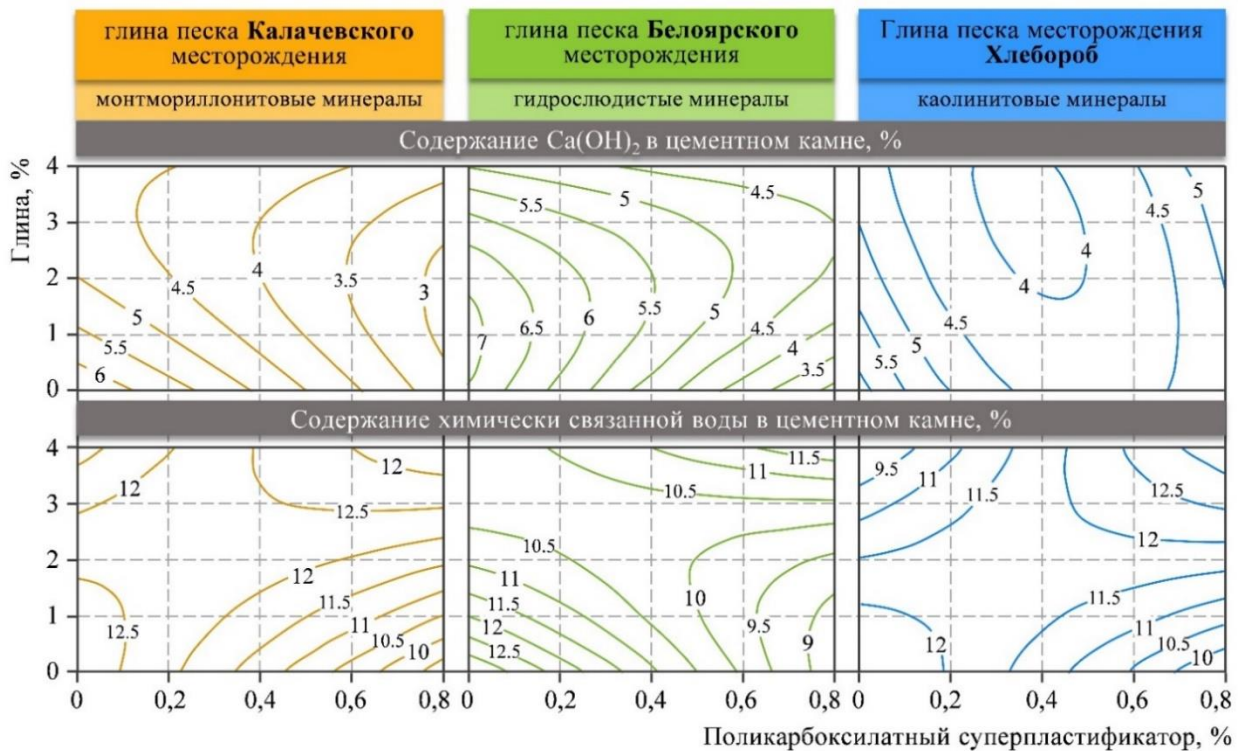


Рисунок 7 – Влияние дозировок глины и суперпластификатора на содержание гидроксида кальция и химически связанной воды в цементном камне

В целом, глинистые минералы практически не влияют как на содержание гидроксида кальция, так и на количество химически связанной воды в цементном камне. Однако, фазовый состав цементного камня и формы закристаллизованности основных гидратов изменяются существенно. Рентгенофазовый анализ цементного камня в 28 суток нормального твердения без добавок и с комплексами, включающими 0,8% АСЕ 430 и 4% глинистых представлен на рис. 8-11.

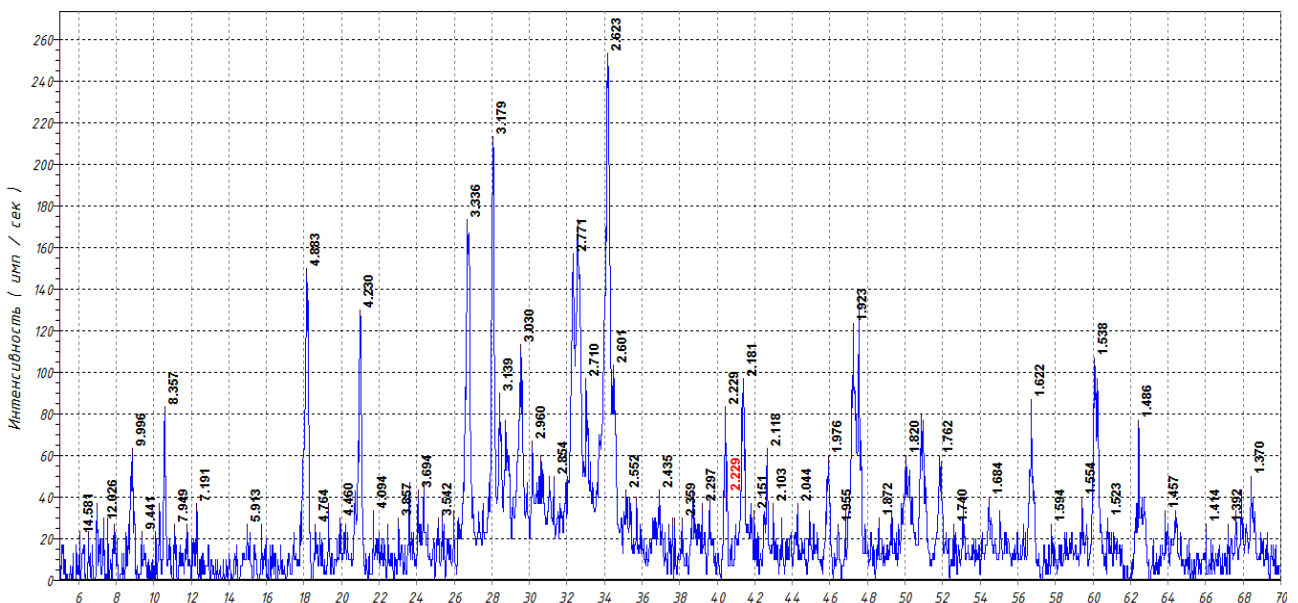


Рисунок 8 – Рентгенограмма цементного камня без добавок в возрасте 28 суток

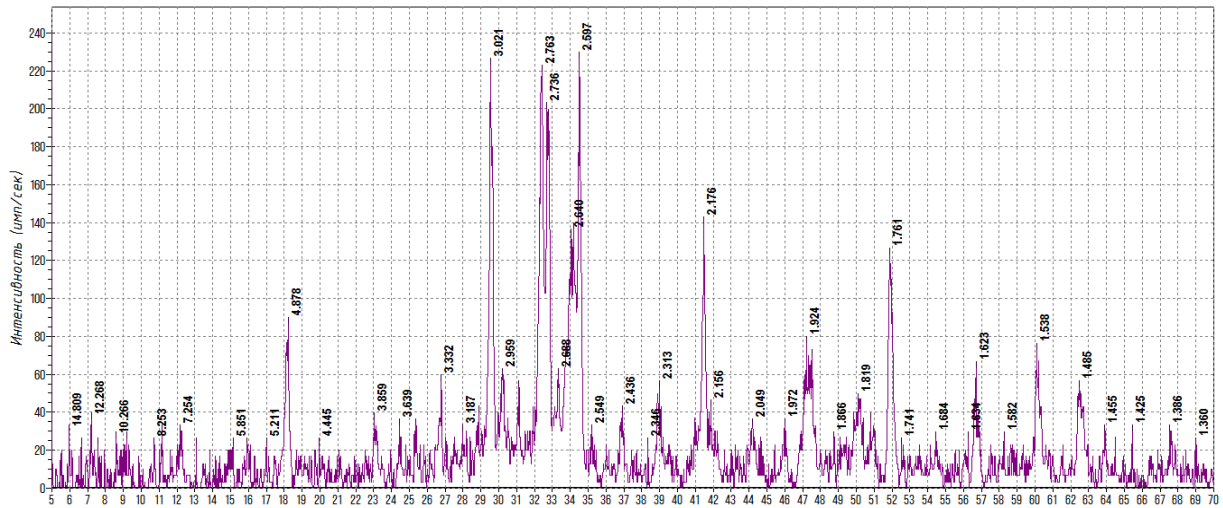


Рисунок 9 – Рентгенограмма цементного камня с комплексной добавкой, включающей 4% монтмориллонитовой глины и 0,8% ACE 430 в возрасте 28 суток

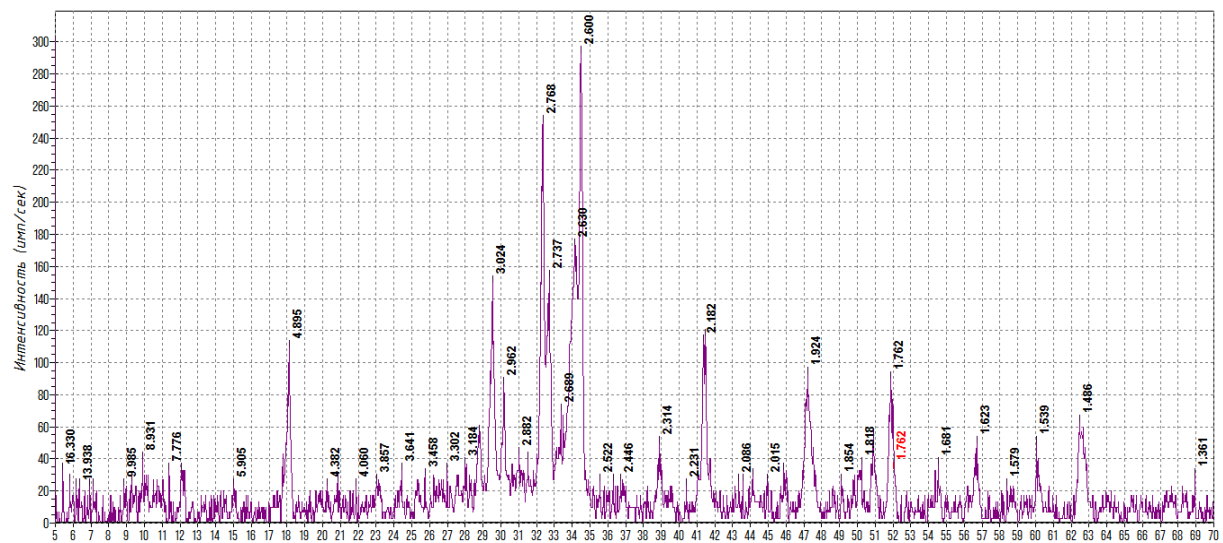


Рисунок 10 – Рентгенограмма цементного камня с комплексной добавкой, включающей 4% гидрослюдистых глин и 0,8% ACE 430 в возрасте 28 суток

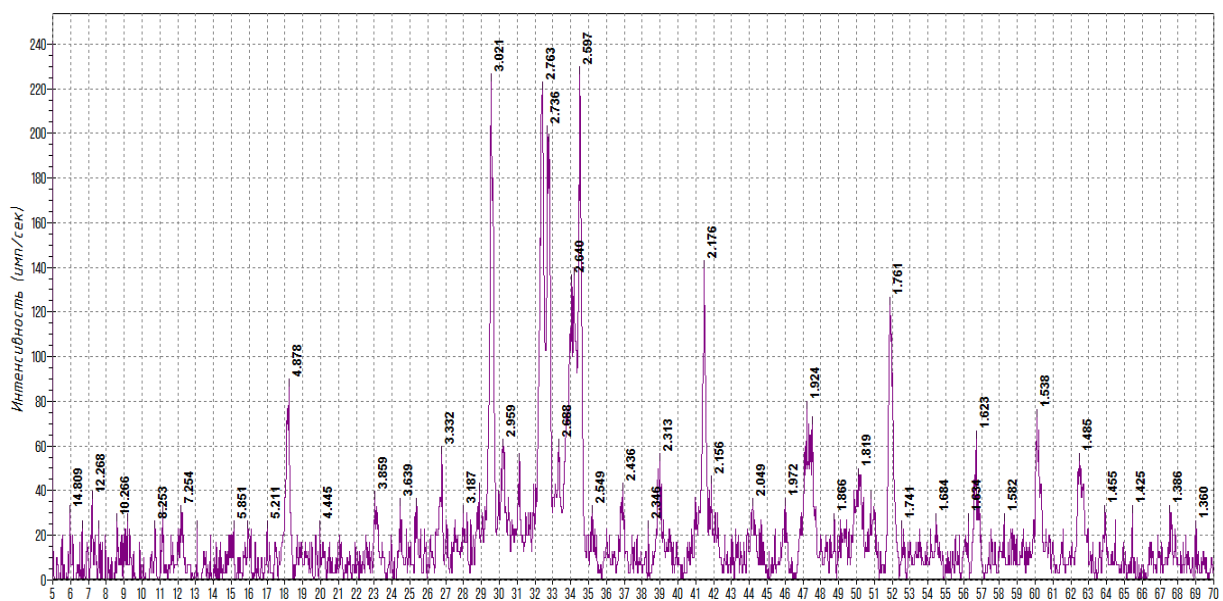
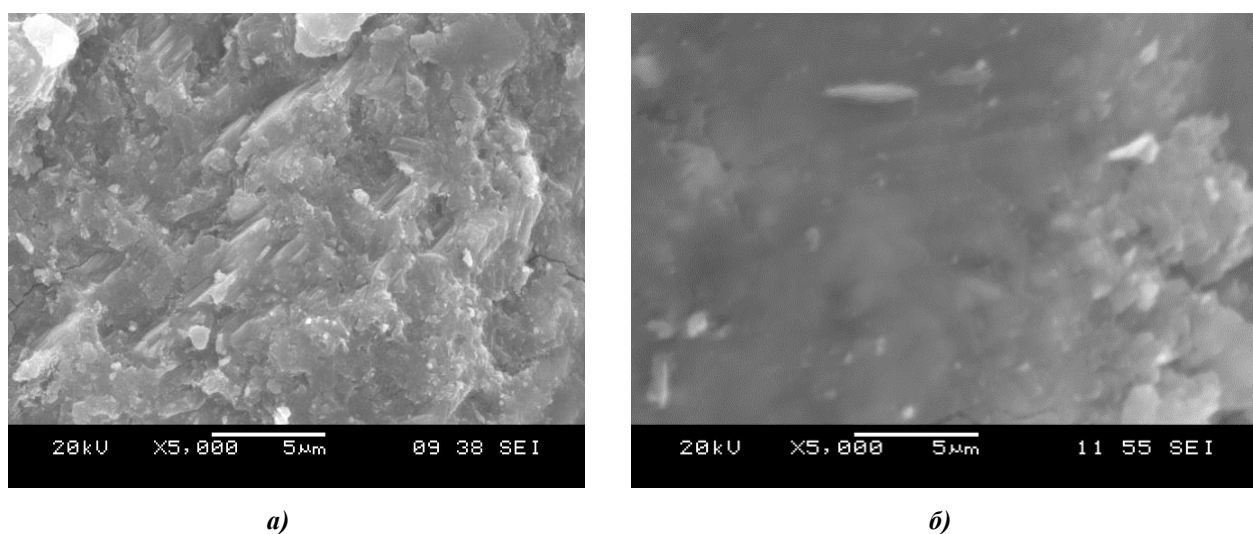


Рисунок 11 – Рентгенограмма цементного камня с комплексной добавкой, включающей 4% каолиновой глины и 0,8% ACE 430 в возрасте 28 суток

Анализ представленных рентгенограмм выявил следующее.

Цементный камень без добавок (рис. 8) формируется закристаллизованными высокоосновными гидросиликатами кальция типа C-S-H (II) с $d/n = 9,8; 3,03...3,07; 2,85; 2,80; 2,40; 2,00; 1,83; 1,56 \text{ \AA}$, $8\text{CaO} \cdot 3\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ с $d/n = 8,45; 5,43; 4,22; 3,83; 3,34; 2,78; 2,71; 1,9 \text{ \AA}$ и $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с $d/n = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79; 1,48; 1,45$ и др.

В тоже время, цементный камень с комплексной добавкой поликарбоксилатного суперпластификатора и глинистых разного генезиса (рис. 9, 10, 11) формируется аморфизированными гидратными фазами, имеющими порядок в одной плоскости. Это подтверждают интенсивные отражения на рентгенограммах с $d/n = 3,024; 2,96; 2,76; 2,73; 2,18 \text{ \AA}$. Кроме этого, цементный камень содержит в пониженных количествах гидроксид кальция пластинчатого строения с $d/n = 4,93; 3,11; 2,63; 1,93; 1,79; 1,48; 1,45 \text{ \AA}$.



*Рисунок 12 – Снимки электронной микроскопии цементного камня
а) без добавок, б) с добавкой 0,8% ACE 430 и 4% каолиновой глины*

Снимки с электронной микроскопии (рис. 12) подтверждают данные рентгеновского анализа о влиянии поликарбоксилатного суперпластификатора на аморфизацию структуры цементного камня.

Заключение

Наиболее негативное воздействие оказывают глины монтмориллонитовой группы. Пески с месторождений, где они содержатся, необходимо дополнительно промывать для достижения достаточной эффективности поликарбоксилатных суперпластификаторов. В противном случае, невымытые пески, содержащие монтмориллонитовые глины, повлекут за собой повышенный расход дорогостоящих добавок.

Применение невымытых песков, содержащих до 2% глинистых частиц, состоящих из каолинита или гидрослюд, практически не снижает эффективность использования поликарбоксилатных суперпластификаторов, что позволяет применять такие пески при производстве даже высокофункциональных бетонов. Однако, для обеспечения высокой эффективности поликарбоксилатных суперпластификаторов при производстве высокофункциональных бетонов необходимо применять мытые пески.

В ходе исследования дополнительно выявлено, что введение поликарбоксилатных суперпластификаторов способствует формированию структуры цементного камня из аморфизированных высокоосновных гидросиликатов кальция.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hirata T. A cement dispersant, in: JP Patent 84, 2022, 1981, S59–018338.
2. Lei L., Plank J. A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance // *Cement and Concrete Research*. 2012. V. 42, № 10. Pp. 1299–1306.
3. Li C.Z., Feng N.Q., Li Y.D., Chen R. Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers // *Cement and Concrete Research*. 2005. V.35, №5. Pp. 867–873.
4. Plank J., Pollmann K., Zouaoui N., Andres P.R., Schaefer C. Synthesis and performance of methacrylic ester based polycarboxylate superplasticizers possessing hydroxy terminated poly(ethylene glycol) side chain // *Cement and Concrete Research*. 2008. V. 38, №10. Pp. 1210–1216.
5. Liu S., Mo X., Zhang C. Swelling inhibition by polyglycols in montmorillonite dispersions / S. Liu, X. Mo, C. Zhang // *J. Dispers. Sci. Technol.* 2004. V. 25, №1. P. 63–66.
6. Plank J., Zhimin D., Keller H., Hossle F.v., Seidl W. Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C3A hydrate phases and the role of sulfate present in cement // *Cement and Concrete Research*. 2010. V.40, №1. Pp. 45–57.
7. Plank J., Dai Z., Andres P.R. Preparation and characterization of new Ca-Al-polycarboxylate layered double hydroxides // *Materials Letters*. 2006. V. 60. P. 3614–3617.
8. Plank J., Sakai E., Miao C.W., Yu C., Hong J.X. Chemical admixtures – Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability // *Cement and Concrete Research*. 2015. V. 78. Pp. 81–99.
9. Xiong L., Zheng G., Bi Y., Fu C. Effect of typical clay upon the dispersion performance of polycarboxylate superplasticizer // *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering (MEBE 2015)*. Atlantis Press, 2015. Pp. 226–229.
10. Вовк А.И. Суперпластификаторы в бетоне: анализ химии процессов // *Технология бетонов*. 2007. №3. С. 2–3.
11. Вовк А.И. Гидратация трехкальцевого алюмината С3А и смесей С3А-гипс в присутствии ПАВ: адсорбция или поверхностное фазообразование? // *Коллоидный журнал*. 2000. Т. 62, №1. С. 31–38.
12. Вовк А.И. Механизм адсорбции суперпластификаторов на силикатных и алюминатных компонентах портландцемента // *Коллоидный журнал*. 2000. Т. 62, №3. С. 303–308.
13. Крамар Л.Я., Кудяков А.И., Трофимов Б.Я., Шуляков К.В. Цементные тяжелые бетоны для строительства скоростных автомобильных дорог // *Вестник ТГАСУ*. 2017. №4 (63). С. 147–158.
14. Рамачандран В., Фельдман Р., Бодуэн Дж. Наука о бетоне: физико-химическое бетоноведение / пер. с англ. Т.И. Розенберг, Ю.Б. Ратиновой. Под ред. В.Б. Ратинова. М.: Стройиздат, 1986. 278 с.
15. Горшков В.С., Тимашев В.В., Савельев В.Г. Методы физико-химического анализа вяжущих веществ: учебное пособие. М.: Высш. школа, 1981. 335 с.
16. Иванов И.М., Матвеев Д.В., Орлов А.А., Крамар Л.Я. Влияние водоцементного отношения и суперпластификаторов на процессы тепловыделения, гидратации и твердения цемента // *Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура»*. 2017. Т. 17, № 2. С. 42–49.

Хицков Андрей Андреевич

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия, магистрант.

E-mail: andwon74@gmail.com

Иванов Илья Михайлович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия, аспирант.

E-mail: ivanov.im@bk.ru

Крамар Людмила Яковлевна

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», г. Челябинск, Россия, д.р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Строительные материалы и изделия»

E-mail: kramar-l@mail.ru

HICKOV A.A., IVANOV I.M., KRAMAR L.Y.

INFLUENCE OF CLAY PARTICLES OF VARIOUS SANDS ON THE EFFECTIVENESS OF POLYCARBOXYLATE SUPERPLASTICIZERS AND THE PROPERTIES OF CEMENT STONE

The work is devoted to the study of the influence of clay minerals from the sands of various deposits on the efficiency of polycarboxylate superplasticizers in cement systems and on the properties of cement stone. The results of studying the composition of clay minerals in the sands of different deposits of the Chelyabinsk region are presented. It has been established that the effectiveness of polycarboxylate superplasticizers decreases the clay mineral montmorillonite to a greater extent. An assessment was made of the possibility of using various sands containing up to 2% clay minerals in order to obtain high performance concretes. To ensure the high efficiency of polycarboxylate superplasticizers in concretes on cement binders, it is necessary to use washed sands.

Keywords: polycarboxylate superplasticizer, sand, clay particles, cement paste, hardened cement paste, cement stone structure.

REFERENCES

1. Hirata T. A cement dispersant, in: JP Patent 84, 2022, 1981, S59–018338.
2. Lei L., Plank J. A concept for a polycarboxylate superplasticizer possessing enhanced clay tolerance. *Cement and Concrete Research*. 2012. V. 42, No 10. Pp. 1299-1306.
3. Li C.Z., Feng N.Q., Li Y.D., Chen R. Effects of polyethylene oxide chains on the performance of polycarboxylate-type water-reducers. *Cement and Concrete Research*. 2005. V.35, No 5. Pp. 867–873.
4. Plank J., Pollmann K., Zouaoui N., Andres P.R., Schaefer C. Synthesis and performance of methacrylic ester based polycarboxylate superplasticizers possessing hydroxy terminated poly(ethylene glycol) side chain. *Cement and Concrete Research*. 2008. V. 38. No 10. Pp. 1210-1216.
5. Liu S., Mo X., Zhang C. Swelling inhibition by polyglycols in montmorillonite dispersions. *J. Dispers. Sci. Technol.* 2004. V. 25, No 1. Pp. 63-66.
6. Plank J., Zhimin D., Keller H., Hossle F.v., Seidl W. Fundamental mechanisms for polycarboxylate intercalation into C3A hydrate phases and the role of sulfate present in cement. *Cement and Concrete Research*. 2010. V.40, №1. Pp. 45-57.
7. Plank J., Dai Z., Andres P.R. Preparation and characterization of new Ca-Al-polycarboxylate layered double hydroxides. *Materials Letters*. 2006. V. 60. Pp. 3614-3617.
8. Plank J., Sakai E., Miao C.W., Yu C., Hong J.X. Chemical admixtures – Chemistry, applications and their impact on concrete microstructure and durability. *Cement and Concrete Research*. 2015. V. 78. Pp. 81–99.
9. Xiong L., Zheng G., Bi Y., Fu C. Effect of typical clay upon the dispersion performance of polycarboxylate superplasticizer. International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering (MEBE 2015). Atlantis Press, 2015. Pp. 226-229.
10. Vovk A.I. Superplastifikatory v betone: analiz khimii protsessov [Superplasticizers in concrete: analysis of the chemistry of processes]. *Tekhnologiya betonov*. 2007. No 3. Pp. 2-3. (rus)
11. Vovk A.I. Gidratatsiya trekhkal'tsiyevogo alyuminata C3A i smesey C3A-gips v prisutstvii PAV: adsorbtsiya ili poverkhnostnoye fazoobrazovaniye? [Hydration of tricalcium aluminate C3A and mixtures of C3A-gypsum in the presence of surfactants: ad-sorption or surface formation?]. *Kolloidnyy zhurnal*. 2000. Vol. 62. No 1. Pp. 31-38. (rus)
12. Vovk A.I. Mekhanizm adsorbtsii superplastifikatorov na silikatnykh i alyuminatnykh komponen-takh portlandtsementa [Adsorption mechanism of superplasticizers on silicate and aluminate components of Portland cement]. *Kolloidnyy zhurnal*. 2000. Vol. 62. No 3. Pp. 303-308. (rus)
13. Kramar L.YA., Kudryakov A.I., Trofimov B.YA., Shuldyakov K.V. Tsementnyye tyazhelye betony dlya stroi-tel'stva skorostnykh avtomobil'nykh dorog [Cement heavy concretes for the construction of high-speed highways]. *Vestnik TGASU*. 2017. No 4 (63). Pp. 147-158. (rus)

14. Ramachandran V., Fel'dman R., Boduen Dzh. Nauka o betone: fiziko-khimicheskoye betonovedeniye [Concrete Science: Physico-chemical Concrete Studies] translated by T.I. Rozenberg, YU.B. Ratinovoy. Edited by V.B. Ratinov. Moscow: Stroyizdat, 1986. 278 p. (rus)

15. Gorshkov V.S., Timashev V.V., Savel'yev V.G. Metody fiziko-khimicheskogo analiza vyazhushchikh veshchestv: uchebnoye posobiye [Methods of physico-chemical analysis of binders: a tutorial]. Moscow: Vyssh. shkola, 1981. 335 p. (rus)

16. Ivanov I.M., Matveyev D.V., Orlov A.A., Kramar L.YA. Vliyaniye vodotsementnogo otnosheniya i superplastifikatorov na protsessy teplovydeleniya, gidratatsii i tverdeniya tsementa [Influence of water-cement ratio and superplasticizers on heat generation, hydration and hardening processes of cement]. *Vestnik YUUrGU. Seriya «Stroitel'stvo i arkhitektura»*. 2017. Vol. 17. No 2. Pp. 42-49. (rus)

Hickov Andrey A.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia,
undergraduate.

Email: andwon74@gmail.com

Ivanov Ilya M.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia,
graduate student.

E-mail: ivanov.im@bk.ru

Kramar Lyudmila Y.

South Ural State University (National Research University), Chelyabinsk, Russia,
Dr. Tech. Sciences, Professor, Professor of the Department "Building materials and products"

E-mail: kramar-l@mail.ru

РЕЦЕНЗИЯ НА МОНОГРАФИЮ «СПЕКТРЫ ФУРЬЕ И СПЕКТРЫ ОТВЕТОВ НА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ»

Курбацкий Е.Н. Спектры Фурье и спектры ответов на землетрясения.
М.: EACA (Eurasian SEISMO Association) : АНО «СПРОСЭКСПЕРТИЗА» :
«Onebook.ru», 2018. 156 с.

Актуальность монографии Е.Н. Курбацкого определяется ее практической значимостью как для опытных инженеров, выполняющих расчеты сооружений на сейсмические воздействия, так и для студентов ВУЗов, обучающихся на строительных специальностях, для аспирантов и молодых ученых, чье будущее в науке связано с развитием сейсмологии.

Автором в полной мере раскрыта одна из наиболее важных концепций в теории и практике расчетов сооружений на сейсмостойкость. Концепция спектров ответов широко используется в нормативных документах зарубежных стран и руководствах по расчету сооружений на сейсмические воздействия.

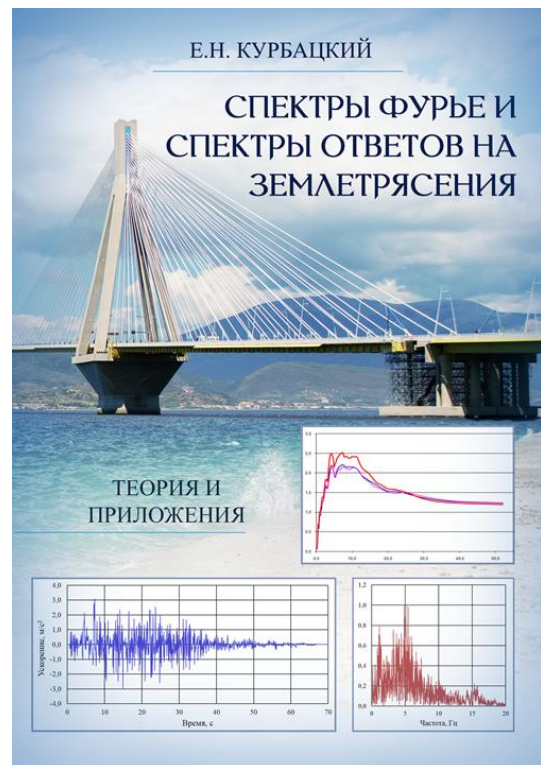
Важной частью монографии является краткое изложение теории преобразования Фурье, как наиболее используемого аппарата при анализе динамических воздействий и реакций на эти воздействия различных систем.

Монография выполнена в соответствии с требованиями ГОСТ -7.01.11-2011 на 156 страницах компьютерного текста, включает в себя 2 части, 15 глав с изложением применения концепции спектров ответов для расчетов сооружений на сейсмические воздействия. Монография написана грамотным научным языком, иллюстрирована рисунками, подтвержденными результатами в таблицах, имеет введение и список литературы.

В первой части изложены теоретические основы применения концепции спектров ответов. Также автором изложен метод для определения параметров волн, распространяющихся в слоистом массиве грунта на примере Сахалинского землетрясения 1995 года.

Кроме того, в монографии подробно описаны особенности расчета мостовых конструкций на сейсмические воздействия, что обладает наиболее важной практической значимостью для инженеров-мостовиков.

Вторая часть содержит собственные исследования автора и включает в себя перевод и анализ зарубежных нормативных документов по расчету сооружений на сейсмические воздействия.



Практическое значение монографии Е.Н. Курбацкого не вызывает сомнений, поскольку собственные исследования автора значительно расширяют и дополняют представления о возможностях применения концепции спектров ответов для расчетов на сейсмические воздействия. Результаты, представленные в монографии, могут быть использованы в качестве информационно-аналитической базы при актуализации существующих нормативных документов РФ.

Монография написана на высоком методическом и теоретическом уровне и может быть рекомендована к изданию.

В.М. Круглов,
д.т.н., профессор, директор научно-исследовательского
института транспорта и транспортного строительства
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта», Россия, Москва.

Уважаемые авторы!
Просим Вас ознакомиться с основными требованиями
к оформлению научных статей

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит **от 4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и вверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна** статья **одного** автора, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

В тексте статьи не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

Обязательные элементы:

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый объем – не менее 100 слов;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

С полной версией требований к оформлению научных статей
Вы можете ознакомиться на сайте www.oreluniver.ru/science/journal/sir

Адрес издателя:

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302026, Орловская область, г. Орел, ул. Комсомольская д. 95
+7 (4862) 777-318

www.oreluniver.ru

E-mail: info@oreluniver.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Орловский государственный университет имени И.С. Тургенева»
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49

<http://oreluniver.ru/science/journal/sir>

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.Ю. Савин
Компьютерная верстка С.Ю. Савин

Подписано в печать 11.12.2018 г.
Дата выхода в свет 18.12.2018 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 7,56.
Цена свободная. Тираж 500 экз.
Заказ №_____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.