



Научно-технический журнал
Издается с 2003 года.
Выходит шесть раз в год.

№5 (49) 2013
(сентябрь-октябрь)

СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,
зам. председателя
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.
Киричек А.В. д.т.н., проф.
Колчунов В.И. д.т.н., проф.
Константинов И.С. д.т.н., проф.
Новиков А.Н. д.т.н., проф.
Попова Л.В. д.э.н., проф.
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Гордон В.А. д.т.н., проф.
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.
Коробко А.В. д.т.н., проф.
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Ольков Я.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Римшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)
Серпик И.Н. д.т.н., проф.
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)
Турков А.В. д.т.н., проф.
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,
ул. Московская, 77
Тел.: +7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе
по надзору в сфере связи, информационных
технологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство:
ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

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

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2013

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Колчунов В.И., Андросова Н.Б.** Прочность корродирующего бетона при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий..... 3
- Новиков Д.А.** Экспериментальное исследование усиленных изгибаемых железобетонных элементов..... 10
- Серпик И.Н., Мироненко И.В.** Оптимальное проектирование железобетонных ригелей на основе эволюционного моделирования..... 13
- Скляднев А.И., Попова Г.Н., Попова Н.Ю.** Определение оптимальных размеров стального внецентренно-нагруженного стержня двутаврового сечения по условию прочности..... 21
- Соколенко Н.С., Ежов В.С.** Способ управления экологическими характеристиками систем индивидуального теплоснабжения в жилых массивах..... 26
- Турков А.В., Макаров А.А.** Прогибы и частоты собственных колебаний систем перекрестных балок с пластинами по верхнему поясу с учётом податливости связей, крепящих элементы покрытия к системе..... 30
- Федоров С.С., Тютюнов Д.Н., Клюева Н.В.** Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения..... 36
- Фимкин А.И.** Использование функций Котельникова при численном решении обратных некорректных задач..... 40

Архитектура и градостроительство

- Кобелева С.А.** Критерии для оценки экологической эффективности зданий..... 47
- Петренко С.Е., Серпокрылов Н.С.** Оценка вклада блочно-модульных установок очистки хозяйственно-бытовых сточных вод в концепцию биотехносферного города..... 53

Строительные материалы и технологии

- Лукутцова Н.П., Пыкин А.А., Дегтерев Е.В., Пинчукова И.Н., Тужикова М.Ю.** Анализ влияния параметров ультразвукового диспергирования на размер, устойчивость, морфологию и состав частиц наномодификатора для бетона на основе шунгита..... 62
- Соломенцев А.Б., Куликова А.В.** Уплотняемость асфальтовяжущего с добавками для теплого асфальтобетона и добавкой УНИРЕМ-001..... 73
- Федосов С.В., Масленников В.А., Осадчий Ю.П., Маркелов А.В.** Извлечение ценных компонентов из промышленных стоков и их повторное использование..... 79



Scientific and technical journal
The journal is published since 2003.
The journal is published 6 times a year.

№5 (49) 2013
(September-October)

BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training
«State University – Educational-Science-Production Complex»
(State University ESPC)

Editorial council:

Golenkov V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.,
president

Radchenko S.Y. Doc. Sc. Tech., Prof.,
vice-president

Borzenkov M.I. Candidat Sc. Tech.,
Assistant Prof.

Astafichev P.A. Doc. Sc. Law., Prof.

Ivanova T.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kirichek A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Konstantinov I.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Novikov A.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Popova L.V. Doc. Ec. Tech., Prof.

Stepanov Y.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Editor-in-chief

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

Editor-in-chief assistants:

Danilevich D.V. Candidat Sc. Tech., Assis-
tant Prof.

Kolesnikova T.N. Doc. Arc., Prof.

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

Editorial committee

Bondarenko V.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Gordon V.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Emelyanov S.G. Doc. Sc. Tech., Prof.

Karpenko N.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

Kljueva N.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Korol E.A. Doc. Sc. Tech., Prof.

Olkov Y.I. Doc. Sc. Tech., Prof.

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

Sergeychuk O.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)

Serpik I.N. Doc. Sc. Tech., Prof.

Tur V.V. Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)

Turkov A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.

Fyodorov V.S. Doc. Sc. Tech., Prof.

Chernyshov E.M. Doc. Sc. Tech., Prof.

Schach R. Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

Responsible for edition:

Solopov S.V. Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,

Street Moscow, 77

+7 (4862) 73-43-49

www.gu-unpk.ru

E-mail: oantc@ostu.ru

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

The certificate of registration:

ПН № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2013

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

- Kolchunov V., Androsova N.** Durability corrosion concrete at simultaneous manifestation of power and environmental influences..... 3
- Novikov D.** Experimental study of the strenght bending of reinforced concrete elements..... 10
- Serpik I., Mironenko I.** The optimization design of reinforced concrete beams based on the evolutionary simulation..... 13
- Sklyadnev A., Popova G., Popova N.** Determination of the optimal size of steel eccentrically - loaded rod on the condition of I-section strength..... 21
- Sokolenco N., Ezhov V.** Way of management of ecological characteristics of systems of the individual heat supply in inhabited massifs..... 26
- Turkov A., Makarov A.** Deflections and frequencies of own fluctuations of systems cross beams with plates on the top belt the various sizes of cells on the square plan taking into account pliability of the communications, fixing covering elements to system..... 30
- Fedorov S., Tyutyunov D., Klyuyeva N.** Management of system of heating of buildings from the position of resource saving..... 36
- Fimkin A.** Using of Kotelnikov's functions at the numerical solution of inverse ill-posed problems..... 40

Architecture and town-planning

- Kobeleva S.** The criteria for the assessment of ecological efficiency of buildings.. 47
- Petrenko S., Serpokrilov N.** Assessing the contribution of modular sewage treatment installations to in the concept of biotehnosphere of settlements..... 53

Construction materials and technologies

- Lukuttsova N., Pykin A., Degterev E., Pinchukova I., Tugikova M.** Analysis of the influence of ultrasonic dispersion on the size, stability, morphology and composition of the particles nanomodifier for concrete based on shungit.. 62
- Solomentsev A., Kulikova A.** Compactibility asphalt the knitting with additives for warm asphalt mixes and «УНИПЕМ-001» additive..... 73
- Fedosov S., Maslennikov V., Osadchiy U., Markelov A.** Recovery of useful components from industrial waste and its further recycling..... 79

Journal is included into the List of the Higher Examination Board for publishing the results of theses
for competition the academic degrees

УДК 624.072

КОЛЧУНОВ В.И., АНДРОСОВА Н.Б.

**ПРОЧНОСТЬ КОРРОДИРУЮЩЕГО БЕТОНА
ПРИ ОДНОВРЕМЕННОМ ПРОЯВЛЕНИИ СИЛОВЫХ
И СРЕДОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ***

Рассматривается задача, связанная с вопросами прочности коррозионно повреждаемого бетонного и железобетонного элемента при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий. Представлена общая задача теории предельного состояния коррозионно повреждаемого бетона при плоском напряженном состоянии.

Ключевые слова: *безопасность зданий и сооружений, прочность, коррозионно повреждаемый бетон, плосконапряженный элемент.*

Для решения задач живучести железобетонных конструктивных систем при запроектных воздействиях, вызванных одновременным проявлением силовых и средовых факторов, необходимы уточненные критерии прочности бетона конструкций в этих условиях. Ранее в работах [1, 2] предложен в качестве рассматриваемого случая приопорный участок однопролетной балки на основе общей задачи теории предельного состояния нагруженного коррозионно повреждаемого бетона при плоском напряженном состоянии. Однако были построены графики критерия прочности для плоского напряженного состояния под воздействием только коррозионных факторов. Для построения кривых зависимости прочности корродирующего бетона при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий использованы экспериментальные данные работы [3]. В работе В.П. Селяева, Л.М. Ошкиной, П.В. Селяева выявлены изменения прочностных характеристик бетона под действием сульфат-ионов. В качестве коррозионного воздействия будет рассмотрена коррозия цементных бетонов в водных растворах, содержащих сульфат-ионы, т.к. она является наиболее распространенным видом.

Опираясь на результаты работы акад. В.П. Селяева, глубину повреждения δ определим ординатой (a) переднего фронта коррозии:

$$\delta = a = k(\xi)\sqrt{Dt} = 0,1\sqrt{Dt}, \quad (1)$$

где t – время воздействия агрессивной среды; $k(\xi)$ – коэффициент, учитывающий инструментальную точность определения ординаты (для цементного камня можно принять равным 0,1); D – коэффициент продвижения фронта разрушения (диффузии).

Согласно исследованиям [3] влияния совместного действия нагрузки и 2%-го водного раствора H_2SO_4 установлено, что сжимающие напряжения замедляют процесс переноса агрессивной среды в объем образца (рис. 1). Зона проникновения агрессивной среды у образцов, экспонированных под нагрузкой, значительно меньше, чем у образцов, экспонированных без нагрузки. Для построения кривых возьмем значения коэффициентов диффузии ($D \times 10^{-6} \text{ м}^2/\text{ч}$) от уровня сжимающей нагрузки на цементный камень без заполнителя (применяются результаты экспериментов В.П. Селяева): $P=0$, то $D=4,5$; $P = 0,3P_{разр}$, то $D=3,0$; $P = 0,5P_{разр}$, то $D=2,9$; $P = 0,7P_{разр}$, то $D=1,8$.

Результаты расчета глубины коррозии, высоты сжатой зоны, прочности коррозионно повреждаемого бетона приведены в таблицах 1-4 при разных значениях нагрузки, приложенной на конструкцию.

* Работа выполнена в рамках государственного задания ГЗ 7.402.2011 «Физические и расчетные модели сопротивления конструктивных систем из железобетона в запредельных состояниях».

Таблица 1 – Глубина коррозии, высоты сжатой зоны, прочности коррозионно повреждаемого бетона при нагрузке $P=0$

Время воздействия агрессивной среды (t), сут.	0	7	14	28	56	90	120	150
Глубина коррозии δ , мм	0	2,75	3,89	5,50	7,78	9,86	11,38	12,73
Высота сжатой зоны корродированного сечения x^* , мм	72	72,9	73,3	73,8	74,6	75,3	75,8	76,2
Предел прочности при сжатии $R_b^*(t)$, МПа	11,5	11,32	11,26	11,18	11,07	10,97	10,89	10,83
Предел прочности при растяжении $R_{bt}^*(t)$, МПа	1,18	1,17	1,16	1,16	1,15	1,14	1,14	1,13

Таблица 2 – Глубина коррозии, высоты сжатой зоны, прочности коррозионно повреждаемого бетона при нагрузке $P=0,3P_{разр}$

Время воздействия агрессивной среды (t), сут.	0	7	14	28	56	90	120	150
Глубина коррозии δ , мм	0	2,25	3,17	4,49	6,35	8,05	9,30	10,39
Высота сжатой зоны корродированного сечения x^* , мм	72	72,7	73,1	73,5	74,1	74,7	75,1	75,5
Предел прочности при сжатии $R_b^*(t)$, МПа	11,5	11,35	11,30	11,24	11,15	11,06	10,99	10,94
Предел прочности при растяжении $R_{bt}^*(t)$, МПа	1,18	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14	1,14

Таблица 3 – Глубина коррозии, высоты сжатой зоны, прочности коррозионно повреждаемого бетона при нагрузке $P=0,5P_{разр}$

Время воздействия агрессивной среды (t), сут.	0	7	14	28	56	90	120	150
Глубина коррозии δ , мм	0	2,21	3,12	4,41	6,24	7,91	9,14	10,22
Высота сжатой зоны корродированного сечения x^* , мм	72	72,73	73,04	73,47	74,08	74,64	75,05	75,41
Предел прочности при сжатии $R_b^*(t)$, МПа	11,5	11,35	11,31	11,24	11,15	11,07	11,00	10,95
Предел прочности при растяжении $R_{bt}^*(t)$, МПа	1,18	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15	1,14

Таблица 4 – Глубина коррозии, высоты сжатой зоны, прочности коррозионно повреждаемого бетона при нагрузке $P=0,7P_{разр}$

Время воздействия агрессивной среды (t), сут.	0	7	14	28	56	90	120	150
Глубина коррозии δ , мм	0	1,74	2,46	3,48	4,92	6,23	7,20	8,05
Высота сжатой зоны корродированного сечения x^* , мм	72	72,58	72,82	73,16	73,64	74,08	74,4	74,68
Предел прочности при сжатии $R_b^*(t)$, МПа	11,5	11,38	11,34	11,29	11,22	11,15	11,10	11,06
Предел прочности при растяжении $R_{bt}^*(t)$, МПа	1,18	1,17	1,17	1,17	1,16	1,16	1,15	1,15

На основе результатов значения глубины коррозии, приведенных в таблицах 1-4, построен график изменения глубины коррозионного повреждения от времени экспонирования под действием нагрузки (рис. 1).

Приведенное значение толщины коррозионно поврежденного слоя в бетонных и железобетонных элементах в таблицах 1-4 и на рисунке 1 согласно слоистой расчетной модели сжатого бетона В.М. Бондаренко [4] является областью переходной в толще элемента. В этой области характерно последовательное уменьшение коррозионных повреждений вплоть до их полного исчезновения. Далее по глубине сечения – область неповрежденная. При кольматационном типе повреждений конструкции ($m > 0$; $\delta_{кр} \leq x^*$) с учетом утерянной и сохраненной части силового сопротивления, используя условия равновесия всех сил на горизонтальную ось v (рис. 2), можно вычислять высоту сжатой зоны поперечного сечения изгибаемого элемента [4]:

$$x^* = x_1 + z^* + \frac{1}{3} \delta, \quad (2)$$

где $x_1 = \omega_s x_0$; $x_0 = \frac{A_s \sigma_s}{b R_b}$ – высота сжатой зоны до начала повреждения; ω_s – коэффициент коррозионного повреждения арматуры; σ_s – напряжения в растянутой арматуре (при $\frac{x^*}{h_0} \leq \xi_R$) принимается $\sigma_s = R_s$.

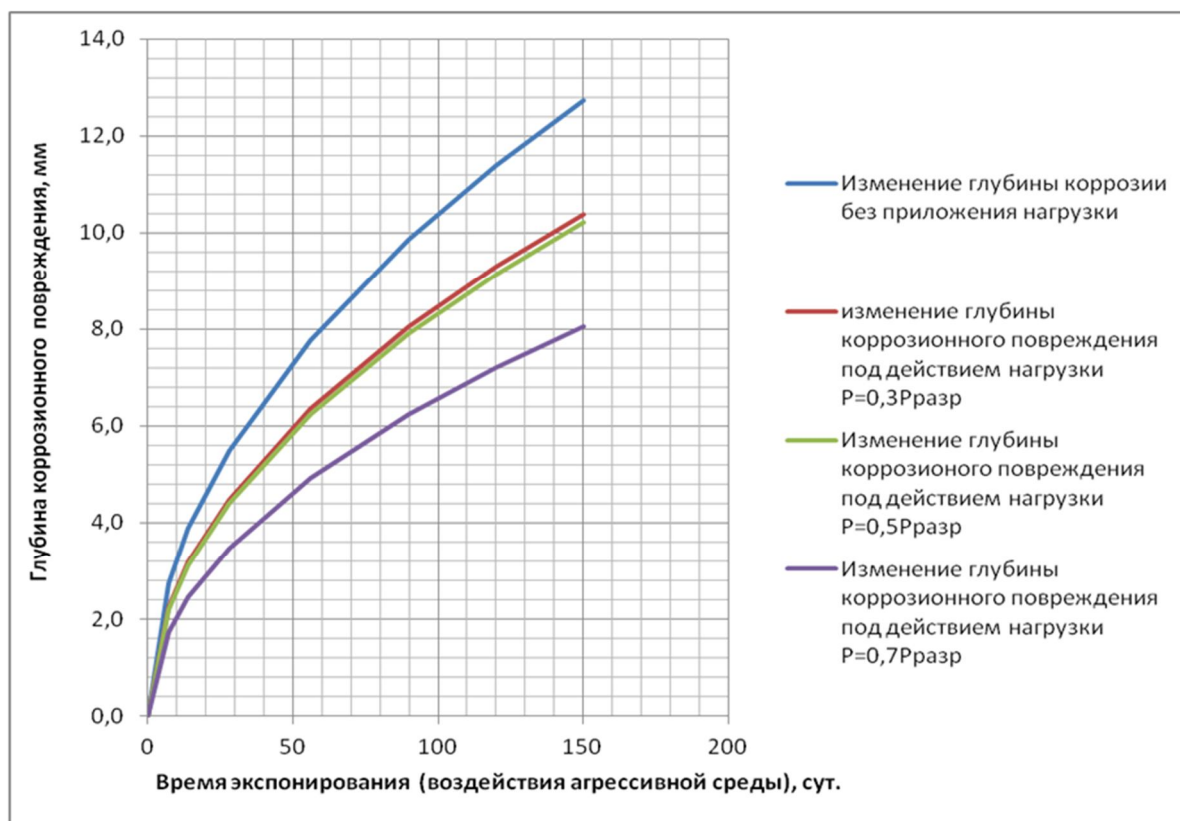


Рисунок 1 – Кривые изменения глубины коррозионного повреждения бетона (сульфатная коррозия) от времени экспонирования

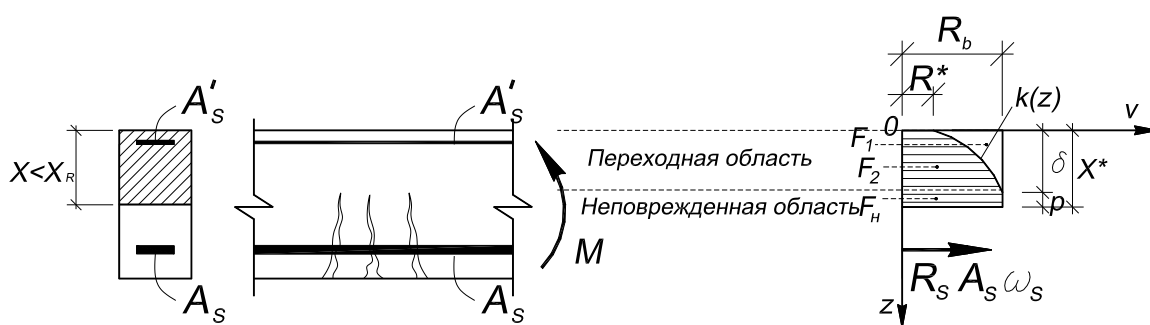


Рисунок 2 – К определению высоты сжатой зоны в сечении коррозионно повреждаемого железобетонного элемента

Высоту сжатой зоны сечения и предел прочности рассчитаем на примере однопролетной железобетонной балки (рис. 3), которая запроектирована и выполнена для экспериментальных исследований [5] живучести таких конструкций при запроектных воздействиях, вызванных внезапным разрушением по наклонному сечению, а далее построим графики предела прочности. Одна из серий образцов включает два опытных образца в виде однопролетных сплошных балок (ОБ) длиной 1600 мм с размерами поперечного сечения 250×100 мм из бетона

класса В20. Армирование балок производится плоскими сварными каркасами с продольной и поперечной арматурой класса А-III (А400) по ГОСТ 5781-82*. Для восприятия изгибающих моментов в середине пролета проектом предусмотрены два рабочих продольных стержня диаметром 12 мм. Поперечное армирование пролетной части балок выполнено из арматуры диаметром 10 мм. В целях ослабления сечения приопорной зоны армирование в продольном и поперечном направлении выполнено стержнями диаметром 6 мм.

В нашем случае формула (2) высоты сжатой зоны поперечного сечения железобетонного коррозионно повреждаемого изгибаемого элемента в середине пролета может быть представлена в следующей форме:

$$x^* = x_0 + \frac{1}{3} \delta = \frac{A_s \cdot R_s}{b \cdot R_b} + \frac{1}{3} \delta, \quad (3)$$

где ω_s – коэффициент коррозионного повреждения арматуры (принимается равным 1), следовательно, $x_1 = x_0$; z^* – толщина разрушенного коррозией слоя отсутствует.

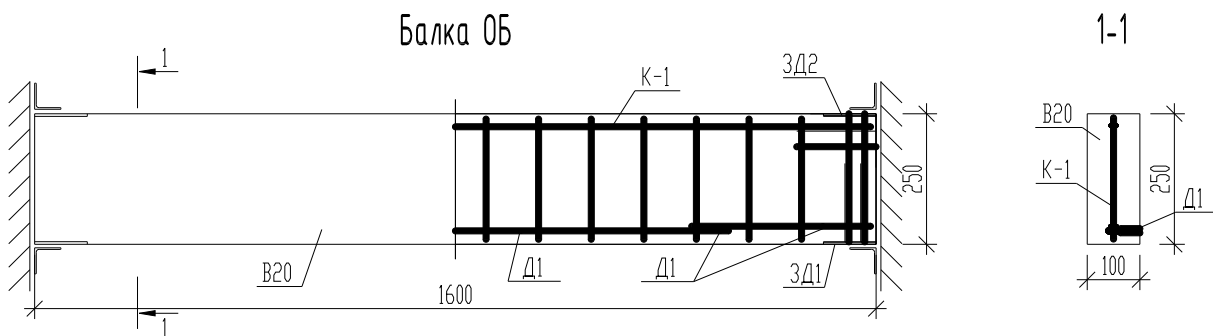


Рисунок 3 – Схемы опалубки и армирования опытного образца железобетонной балки ОБ

Предел прочности при одноосном растяжении в первом приближении принимаем по эмпирической зависимости (формула Фере) [6]:

$$R_{bt} = 0,232R_b^{2/3}. \quad (4)$$

Используя зависимость (3) определяем высоту сжатой зоны и далее значение предела прочности при сжатии $R_b^*(t)$ и пределе прочности при растяжении $R_{bt}^*(t)$ по формуле (4) (см. табл. 1-4).

Построение графиков критерия прочности для плоского напряженного состояния ($\sigma_3 = 0$) выполнено для следующих случаев плоского напряженного состояния [2, 7]:

а) при $\sigma_2 = 0$:

$$\sigma_1^{(1)} = R_b; \sigma_1^{(2)} = -R_{bt} \text{ (точка В и В' на рисунке 4)}. \quad (5)$$

б) при $\sigma_1 = \sigma_2 = p$ – двухосное равномерное сжатие и растяжение (точка А и А' на рисунке 4):

$$p = \frac{2}{3}(R_b - R_{bt}) \pm \sqrt{\frac{4(R_b - R_{bt})^2}{9} + \frac{2}{3}R_b \cdot R_{bt}}. \quad (6)$$

в) при $\sigma_1 = -\sigma_2 = t$ (точка С на рисунке 4) – случай чистого сдвига:

$$t = \sqrt{\frac{R_b \cdot R_{bt}}{2,5}}. \quad (7)$$

г) экстремальные значения σ_1 , следующие из условия $\frac{d\sigma_1}{d\sigma_2} = 0$, отвечают значениям:

$$\sigma_2 = \frac{\sigma_1}{4} + \frac{(R_b - R_{bt})}{2} \text{ и } \sigma_{1\min} = \frac{2}{3}(R_b - R_{bt}) \pm 4\sqrt{\frac{2(R_b - R_{bt})^2}{45} + \frac{1}{15}R_b \cdot R_{bt}} . \quad (8)$$

На основе данных, полученных в таблицах 1-4, построим графики зависимости прочности корродирующего бетона при одновременном проявлении силовых и средовых воздействий (рис. 4). Значение прочности корродирующего бетона при растяжении и сжатии взяты при экспонировании под нагрузкой через 28 суток.

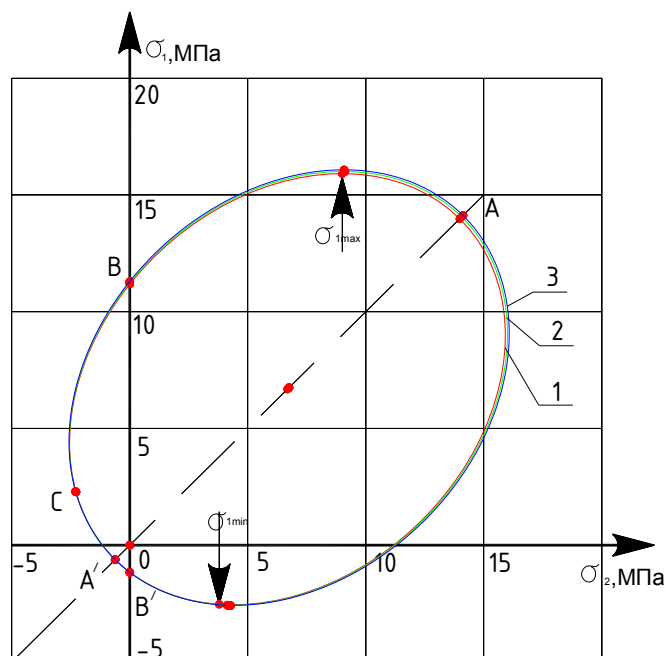


Рисунок 4 – Графики прочности корродирующего (сульфатная коррозия) бетона на 28 сут. при:
 1 – балка без нагрузки; 2 – балка под нагрузкой $P=0,3P_{разр}$ и $P=0,5P_{разр}$;
 3 – балка под нагрузкой $P=0,7P_{разр}$

В результате установленной экспериментальной зависимости [3] определили, что зона проникновения агрессивной среды у образцов, экспонированных под нагрузкой, значительно меньше, чем у образцов, экспонированных без нагрузки. т.к. сжимающие напряжения замедляют процесс переноса агрессивной среды в объем образца.

Коррозионные повреждения в зависимости от особенностей физических или химических воздействий, состава бетона, а также уровня напряженного состояния ($\zeta = \sigma / R_b$) могут по разному развиваться во времени и по глубине поражения.

Предложенные зависимости (5-8) критерия прочности плосконапряженного элемента позволяют учитывать одновременное происхождение коррозионных и силовых процессов во времени. При увеличении значения нагрузки, приложенной к железобетонному элементу под средовым воздействием (в частности сульфатная коррозия), происходит расширение предельной поверхности – эллипсоида вращения, соответствующей критерию прочности. Это позволяет использовать предложенный критерий для оценки силового сопротивления нагруженного плосконапряженного бетона при расчете живучести железобетонных элементов по нормальному и наклонному сечением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ключева, Н.В. Деформационные зависимости и определяющие уравнения плосконапряженного коррозионно повреждаемого бетона [Текст] / Н.В. Ключева, Н.Б. Андросова // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2010. – №2/28. –С. 12-16.

2. Колчунов, В.И. Критерий прочности плосконапряженного коррозионно повреждаемого элемента и его приложение к расчету железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Колчунов, Н.Б. Андросова // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2011. – №1. – С. 13-18.

3. Селяев, В.П. Химическое сопротивление цементных бетонов действию сульфат-ионов [Текст] / В.П. Селяев, Л.М. Ошкина, П.В. Селяев // Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2013.

4. Бондаренко, В.М. К расчету сооружений, меняющих расчетную схему вследствие коррозионных повреждений [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева // Известия ВУЗов. Строительство. – 2008. – №1. – С. 4-12.

5. Колчунов, В.И. К анализу экспериментально-теоретических исследований живучести коррозионно повреждаемых железобетонных балочных систем с разрушением по наклонному сечению [Текст] / В.И. Колчунов, Н.Б. Андросова, Т.О. Колчина // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – №12. – С. 53-56.

6. Голышев, А.Б. Железобетонные конструкции. Сопротивление железобетона. Т. 1 [Текст] / А.Б. Голышев, В.Я. Бачинский, В.П. Полищук. – Киев: изд-во «Логос», 2001. – 481 с.

7. Гениев, Г.А. Критерий прочности льда для сложного напряженного состояния [Текст] / Г.А. Гениев, К.П. Пятикрестовский, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева // Известия ВУЗов. Строительство. – 2003. – №11. – С. 20-23.

В.И. Колчунов

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Уникальные здания и сооружения»

Тел.: +7 (4712) 51-82-66

E-mail: yz swsu@mail.ru

Н.Б. Андросова

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: ramia84@rambler.ru

V. KOLCHUNOV, N. ANDROSOVA

DURABILITY CORROSION CONCRETE AT SIMULTANEOUS MANIFESTATION OF POWER AND ENVIRONMENTAL INFLUENCES

The problem connected with questions of durability corrosion-damaged concrete and ferro-concrete element on simultaneous manifestation of power and environmental influences is considered. The general problem of the theory of a limiting condition of corrosion-damaged concrete is presented at a flat tension.

Keywords: *safety of buildings and structures, durability, corrosion the damaged concrete, a plane-stressed element.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kljueva, N.V. Deformacionnye zavisimosti i opredel'jajushhie uravnenija ploskonaprjazhennogo korrozionno povrezhdaemogo betona [Tekst] / N.V. Kljueva, N.B. Androsova // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2010. – №2/28. –S. 12-16.

2. Kolchunov, V.I. Kriterij prochnosti ploskonaprjazhennogo korrozionno povrezhdaemogo jelementa i ego prilozhenie k raschetu zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.B. Androsova // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2011. – №1. – S. 13-18.

3. Seljaev, V.P. Himicheskoe soprotivlenie cementnyh betonov dejstviju sul'fat-ionov [Tekst] / V.P. Seljaev, L.M. Oshkina, P.V. Seljaev // Saransk: Izd-vo Mordov. un-ta, 2013.

4. Bondarenko, V.M. K raschetu sooruzhenij, menjajushhih raschetnuju shemu vsledstvie korrozionnyh povrezhdenij [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. – 2008. – №1. – S. 4-12.

5. Kolchunov, V.I. K analizu jeksperimental'no-teoreticheskikh issledovanij zhivuchesti korrozionno-povrezhdaemyh zhelezobetonnyh balochnyh sistem s razrusheniem po naklonnomu secheniju [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.B. Androsova, T.O. Kolchina // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2012. – №12. – S. 53-56.

6. Golyshev, A.B. Zhelezobetonnye konstrukcii. Soprotivlenie zhelezobetona. T. 1 [Tekst] / A.B. Golyshev, V.Ja. Bachinskij, V.P. Polishhuk. – Kiev: izd-vo «Logos», 2001. – 481 s.

7. Geniev, G.A. Kriterij prochnosti l'da dlja slozhnogo naprjazhennogo sostojanija [Tekst] / G.A. Geniev, K.P. Pjatkrestovskij, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. – 2003. – №11. – S. 20-23.

V. Kolchunov

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical science, professor, head of department «Unique buildings and structures»

Ph.: +7 (4712) 51-82-66

E-mail: yz swsu@mail.ru

N. Androsova

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical science, associated professor of department «Building designs and materials»

E-mail: ramia84@rambler.ru

НОВИКОВ Д.А.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСИЛЕННЫХ ИЗГИБАЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В работе приведено экспериментальное исследование прочности изгибаемых железобетонных элементов, усиленных методом добетонирования, при наличии коррозионных повреждений в усиливаемой конструкции.

Ключевые слова: железобетонные конструкции, усиление, прочность, коррозионное повреждение.

В настоящее время развитие теории реконструкции железобетона сдерживается малой базой результатов экспериментальных исследований усиленных конструкций, и практически отсутствуют исследования усиленных железобетонных конструкций с коррозионными повреждениями [1, 2].

При воздействии агрессивных сред на железобетонные конструкции наблюдается коррозионное повреждение бетона, которое характеризуется снижением прочности бетона и глубиной поражения по толщине конструкции. Многочисленные исследования показали, что коррозионное повреждение бетона и снижение прочности бетона по сечению конструкции снижается по мере удаления от зоны контакта конструкции с агрессивной средой. При оценке коррозионного повреждения бетона выделяют три зоны по сечению конструкции: зона полного разрушения бетона, зона снижения прочности бетона, зона неповрежденного бетона. Для описания изменения прочности бетона по глубине поражения сжатой зоны предлагают различные эпюры напряжений: ступенчатые, треугольные, криволинейные. В работе [3] предложено для изучения изгибаемых железобетонных конструкций с неоднородными прочностными характеристиками бетона сжатой зоны, к которым можно отнести конструкции с коррозионными повреждениями бетона, моделировать данную неоднородность послойным моделированием.

Для моделирования коррозионного повреждения бетона предложено изготовление экспериментальных изгибаемых образцов с послойным бетонированием сжатой зоны. Схема экспериментальных изгибаемых образцов приведена на рисунке 1.

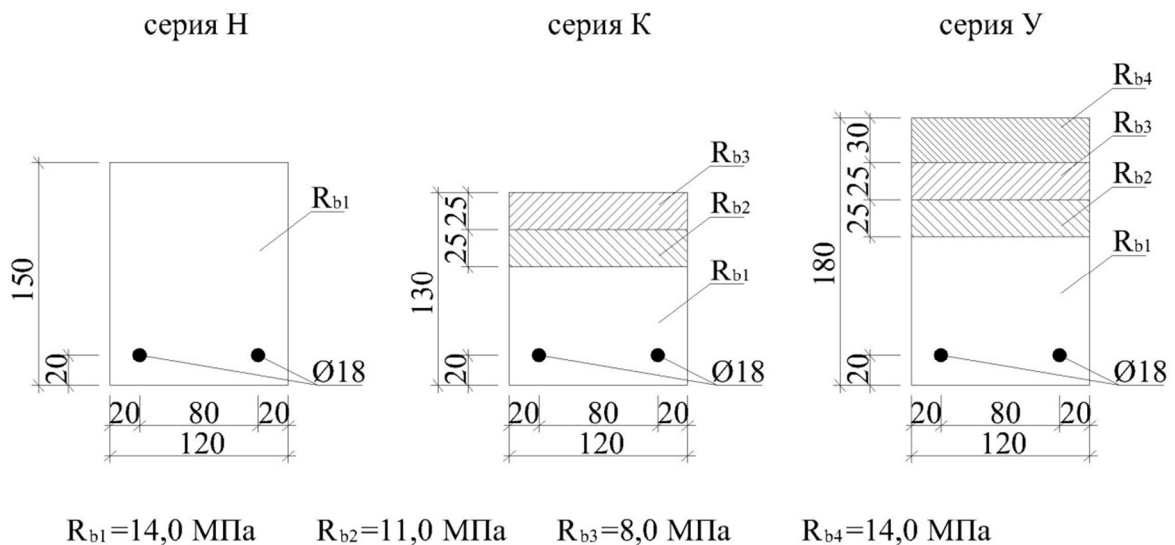


Рисунок 1 – Сечения опытных образцов

Образцы серии «Н» моделируют неповрежденный железобетонный элемент без коррозии бетона, конструкция образцов предусматривает его разрушение по нормальному сечению в результате текучести арматуры.

Образцы серии «К» моделируют железобетонный элемент с коррозионным повреждением бетона сжатой зоны, конструкция образцов предусматривает его разрушение по нормальному сечению в результате текучести арматуры. Сечение элементов состоит из трех бетонов с различными прочностными характеристиками, сжатую зону составляют менее прочные бетоны. Конструкция образцов предусматривает их хрупкое разрушение по бетону сжатой зоны. Высота сечения образцов серии «К» меньше, чем у образцов серии «Н», что моделирует полное коррозионное разрушение бетона верхней части сечения железобетонных балок.

Образцы серии «У» моделируют усиленный изгибаемый железобетонный элемент. Для изготовления образцов серии «У» добетонировали образцы серии «К». Конструкция образцов серии «У» предусматривает их разрушение по нормальному сечению в результате текучести арматуры.

Образцы серий «Н», «К», «У» моделируют состояние железобетонных конструкций на следующих этапах жизненного цикла здания. Образцы серии «Н» моделируют состояние эксплуатируемых конструкций без повреждений, серии «К» – поврежденное состояние железобетонной конструкции вследствие воздействия агрессивной среды с изменением характера разрушения, серии «У» – проведение реконструкции здания с усилением поврежденных конструкций из условия действия новых эксплуатационных конструкций.

Запроектированные экспериментальные образцы имеют габариты: длина – 1800 мм, ширина – 120 мм, высота – 150...180 мм. В качестве продольной рабочей арматуры принята арматура класса А300 диаметром 18 мм. Для предотвращения разрушения изгибаемых образцов по наклонным сечениям на опорных участках установлена поперечная арматура Вр-I диаметром 5 мм. Образцы серии «Н» бетонировали из тяжелого бетона с $R_{b1}=14$ МПа. В образцах серии «К» сечение образовано из бетонов различной прочности с увеличением прочности бетона с нижней части сечения к верхней части: $R_{b1}=14$ МПа, $R_{b2}=11$ МПа, $R_{b3}=8$ МПа соответственно. При бетонировании балок серии «Н» бетоны в опалубку укладывают непрерывно слоями для обеспечения надежного сцепления бетонов. Образцы серии «У» изготовлены добетонированием образцов серии «К» бетоном с $R_{b4}=14$ МПа с увеличением высоты сечения. Образцы серии «У» запроектированы двух вариантов: с жестким и податливым контактными швом между усиливаемой конструкцией и бетоном усиления.

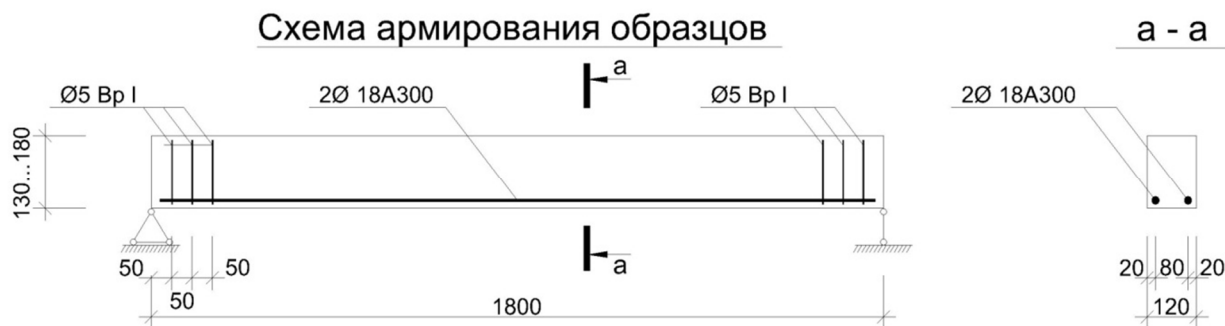


Рисунок 2 – Схема армирования опытных образцов

Испытания опытных образцов всех серий предусмотрены по схеме однопролетной балки с приложением сосредоточенных сил в третях пролета (рис. 3). В процессе испытаний определяются разрушающая нагрузка, нагрузка трещинообразования, измеряются величины деформаций по высоте сечений балок и прогибы.

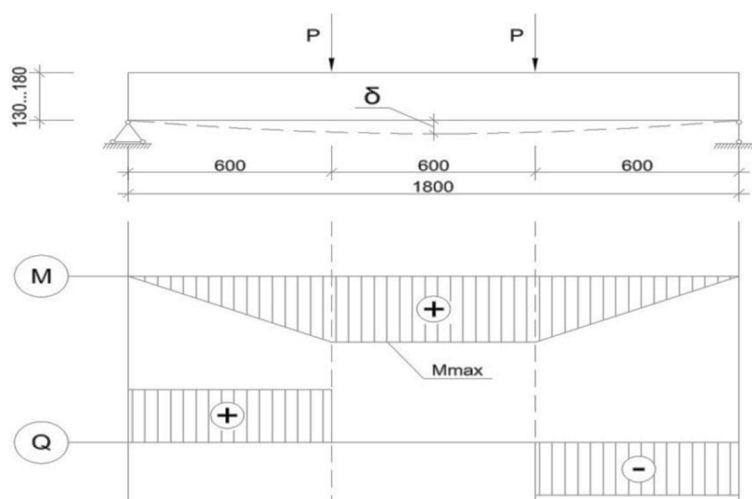


Рисунок 3 – Схема испытания опытных образцов

Таким образом, разработанные конструкции экспериментальных усиленных образцов с коррозионными повреждениями бетона и методика их испытаний при изгибе под нагрузкой, позволят изучить напряженно-деформированное состояние усиленного элемента при различных уровнях нагружения, а также выявить механизм разрушения усиленных железобетонных элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Остаточный ресурс силового сопротивления поврежденного железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Римшин // Вестник РААСН. – 2005. – №9. – С. 119-126.
2. Меркулов, С.И. К вопросу о реконструкции и реновации конструктивных систем [Текст] / С.И. Меркулов // Промышленное и гражданское строительство. – 2009. – №9. – С.45-47.
3. Пищулев, А.А. Изгибаемые железобетонные элементы с неоднородными прочностными характеристиками бетона сжатой зоны [Текст] / А.А. Пищулев // Бетон и железобетон. – 2010. – №2. – С. 23-26.

Д.А. Новиков

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва
Аспирант

D. NOVIKOV

EXPERIMENTAL STUDY OF THE STRENGTH BENDING OF REINFORCED CONCRETE ELEMENTS

The work presents experimental study of the strength bending of reinforced concrete elements of reinforced by the method of concreting in the presence of corrosion damage to the reinforced structure.

Keywords: reinforced concrete structures, strengthening, strength, corrosion damage.

BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V.M. Ostatochnyj resurs silovogo soprotivlenija povrezhdenного zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Rimshin // Vestnik RAASN. – 2005. – №9. – S. 119-126.
2. Merkulov, S.I. K voprosu o rekonstrukcii i renovacii konstruktivnyh sistem [Tekst] / S.I. Merkulov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2009. – №9. – S.45-47.
3. Pishhulev, A.A. Izgibaemye zhelezobetonnnye jelementy s neodnorodnymi prochnostnymi harakteristikami betona szhatoj zony [Tekst] / A.A. Pishhulev // Beton i zhelezobeton. – 2010. – №2. – S. 23-26.

D. Novikov

Moscow state university of railway engineering, Moscow
Post-graduate student

СЕРПИК И.Н., МИРОНЕНКО И.В.

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РИГЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ*

Разрабатывается алгоритм оптимизации балочных железобетонных конструкций, изготовленных без предварительного напряжения арматуры, с использованием эволюционного моделирования. В качестве функции цели рассматривается плановая производственная себестоимость конструкции. Варьируются размеры поперечных сечений балки, числа и диаметры продольных арматурных стержней, классы бетона и арматуры. Учитываются ограничения по прочности, жесткости, трещиностойкости и живучести конструкции. Поиск осуществляется на дискретных множествах параметров, что соответствует практике реального проектирования железобетонных систем.

Ключевые слова: железобетонная балка, оптимальное проектирование, эволюционное моделирование.

ВВЕДЕНИЕ

Важнейшей задачей строительной отрасли является снижение себестоимости конструкций зданий и сооружений при обеспечении требуемой для них несущей способности. Одним из путей решения этой проблемы является оптимальное проектирование. В настоящее время в строительных конструкциях достаточно широко используются железобетонные балки. Алгоритмы выбора параметров поперечных сечений железобетонных стержней по заданным внутренним усилиям достаточно подробно проработаны в литературе. Процедуры такого типа используются в современных пакетах прикладных программ конечно-элементного анализа. Проблема же эффективной оптимизации статически неопределимых железобетонных стержневых систем с рассмотрением перераспределения внутренних усилий при изменении параметров конструкций требует проведения дальнейших исследований. Вопрос усложняется тем, что оптимальный поиск проектируемых объектов необходимо выполнять на дискретных множествах параметров, к которым следует отнести класс бетона и арматуры, размеры поперечных сечений конструктивных элементов, диаметры и числа стержней арматуры. В данном случае целесообразно использовать методы случайного поиска. Наиболее перспективным из таких подходов является метод эволюционного моделирования, иначе называемый генетическими алгоритмами [1-4]. В настоящей статье разрабатывается методика эволюционной оптимизации железобетонных балок без предварительного напряжения арматуры.

АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Пусть железобетонная балка имеет тавровое поперечное сечение с постоянными по длине конструкции размерами b_1, b_2, h_1, h_2 (рис. 1). Минимизируем плановую производственную себестоимость C_b ригеля:

$$C_b(b_1, h_1, b_2, h_2, (d_i, m_i), K_b, K_s) \rightarrow \min, \quad (1)$$

где (d_i, m_i) – пара чисел, определяющая диаметр и количество прутков для i -го ряда продольной рабочей арматуры ($i = 1, \dots, t$); t – общее число таких рядов; K_b, K_s – класс бетона и класс арматуры для конструкции.

* Исследования выполнены в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры» на 2009-2013 годы, соглашение №14.В37.21.0292 «Исследования закономерностей неравновесных процессов и статико-динамического деформирования пространственных конструктивных систем и развитие на этой основе теории живучести энерго-, ресурсоэффективных зданий и сооружений».

Плановую производственную себестоимость конструкции в соответствии с рекомендациями [5] представим таким образом:

$$C_b = C_{см} + C_{ст} + C_a + C_d + C_y + C_ф + C_o + C_n, \quad (2)$$

где $C_{см}$ – себестоимость бетонной смеси; $C_{ст}$ – себестоимость всех видов стали, расходуемой на изготовление арматуры и закладных деталей; C_a – добавленные затраты на изготовление арматуры (включают прямые трудовые затраты и общепроизводственные затраты); C_d – добавленные затраты на изготовление закладных деталей; C_y – себестоимость укладки элементов арматуры и закладных деталей в форму; $C_ф$ – себестоимость формования изделия; C_o – затраты на эксплуатацию и содержание формы; C_n – себестоимость тепловой обработки изделия, учитываемая при производстве конструкции в заводских условиях.

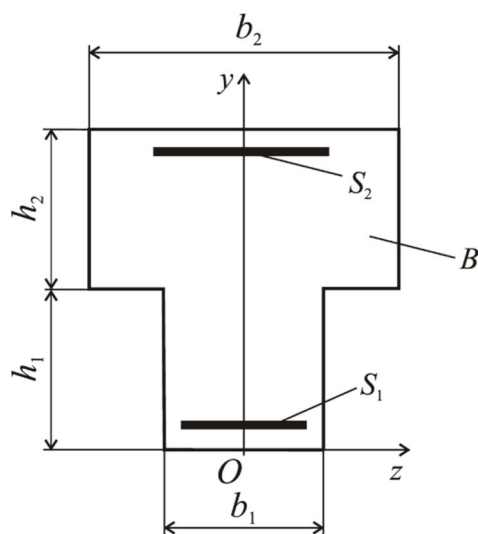


Рисунок 1 – Поперечное сечение железобетонного ригеля:
B – бетон; *S*₁, *S*₂ – арматура

Себестоимость бетонной смеси:

$$C_{см} = K_b V_b Z_b, \quad (3)$$

где K_b – коэффициент расхода бетонной смеси, учитывающий вытеснение бетона арматурой, потери и отходы смеси в процессе укладки; V_b – объем бетона конструкции (в плотном теле); Z_b – себестоимость 1 м³ смеси.

Для стали запишем:

$$C_{ст} = C_{арм} + C_{зд}; \quad C_{арм} = C_{прод} + C_{попер}, \quad (4)$$

где $C_{арм}$, $C_{зд}$, $C_{прод}$, $C_{попер}$ – себестоимость металла, используемого соответственно при изготовлении арматуры, закладных деталей (в том числе петель и отдельных стержней), продольной арматуры и поперечной арматуры.

Расход металла определяем с включением отходов стали в процессе ее переработки. Масса $M_{прод}$ продольной рабочей арматуры непосредственно зависит от варьируемых параметров. Масса закладных деталей может приближенно находиться, исходя из длины ригеля. Массу $M_{попер}$ поперечной арматуры выразим через массу продольной рабочей арматуры таким образом:

$$M_{попер} = \theta_n M_{прод}, \quad (5)$$

где θ_n – коэффициент поперечного армирования, получаемый с учетом предупреждения образования наклонных трещин.

Учитываем ограничения по прочности, жесткости, трещиностойкости, местной прочности [6] и живучести конструкции при запроектных воздействиях [7-11].

1) *Требования по прочности:*

$$\forall \sigma_b < 0: |\sigma_b| \leq \tilde{R}_b = \gamma_{bI} R_b; \forall \sigma_S > 0: \sigma_S \leq \tilde{R}_S = \gamma_{SI} R_S;$$

$$\forall \sigma_S < 0: |\sigma_S| \leq \tilde{R}_{Sc} = \gamma_{SI} R_{Sc}, \quad (6)$$

где σ_b, σ_S – нормальные напряжения в бетоне и арматуре; R_b – расчетное сопротивление бетона при осевом сжатии для предельных состояний первой группы; R_S, R_{Sc} – расчетные сопротивления арматуры при растяжении и сжатии для предельных состояний первой группы; γ_{bI}, γ_{SI} – обобщающие коэффициенты условий работы бетона и арматуры.

Выражения (6) заменяем зависимостями:

$$\forall \varepsilon_b < 0: \frac{|\varepsilon_b|}{\Psi_b \tilde{\varepsilon}_b} - 1 \leq 0; \forall \varepsilon_S > 0: \frac{\varepsilon_S}{\Psi_S \tilde{\varepsilon}_S} - 1 \leq 0; \forall \varepsilon_S < 0: \frac{|\varepsilon_S|}{|\tilde{\varepsilon}_{Sc}|} - 1 \leq 0, \quad (7)$$

где Ψ_b, Ψ_S – коэффициенты, вводимые для учета неравномерности распределения напряжений в сжатом бетоне и растянутой арматуре для сечений, расположенных на участках с трещинами в растянутом бетоне [5]; $\varepsilon_b, \varepsilon_S$ – средние продольные деформации в бетоне и арматуре; $\tilde{\varepsilon}_b, \tilde{\varepsilon}_S, \tilde{\varepsilon}_{Sc}$ – деформации, соответствующие напряжениям $\tilde{R}_b, \tilde{R}_S, \tilde{R}_{Sc}$.

2) *Требование по жесткости:*

$$\frac{f}{f_{ult}} - 1 \leq 0, \quad (8)$$

где f – прогиб железобетонного элемента от действия внешней нагрузки; f_{ult} – значение предельно допустимого прогиба железобетонного элемента.

3) *Требование по ширине раскрытия поперечных трещин:*

$$\frac{a_{crc}}{a_{crc,ult}} - 1 \leq 0, \quad (9)$$

где a_{crc} – ширина раскрытия трещин в бетоне; $a_{crc,ult}$ – предельно допустимая ширина раскрытия трещин в бетоне, зависящая от продолжительности действия нагрузки.

4) *Требования по условию отсутствия наклонных трещин.*

Выполняется расчет железобетонных элементов по полосе между наклонными сечениями, по наклонным сечениям на действие поперечных сил и моментов.

5) *Требования по местной прочности.*

6) *Ограничение по условиям обеспечения живучести конструкции для рассматриваемых запроектных воздействий.*

Полагается, что в эволюционной схеме активными являются только ограничения 1-3. Ограничение 4 учитывается после окончания эволюционного поиска путем корректировки параметра θ_n с последующим повторением реализации эволюционного алгоритма при существенном изменении поперечного армирования. В качестве критерия окончания эволюционного процесса принимается отсутствие изменений в базе данных элитных проектов в течение 250 итераций [3]. Условия 5, 6 проверяются после подбора всех параметров.

В эволюционном алгоритме принимается во внимание основная группа Π_A проектов, имеющая фиксированное число n объектов, и вспомогательная группа Π_B улучшенных объектов, размер которой зависит от результатов выполнения итераций, но не превышает n . Структура алгоритма оптимизации представлена на рисунке 2. Описание основных этапов итерационной процедуры такого типа приведено в работах [3, 4]. Расчет конструкции выполняется в физически нелинейной постановке методом конечных элементов с учетом возможности образования трещин в растянутом бетоне на основе многослойной схемы, рассмотренной в работе [12].

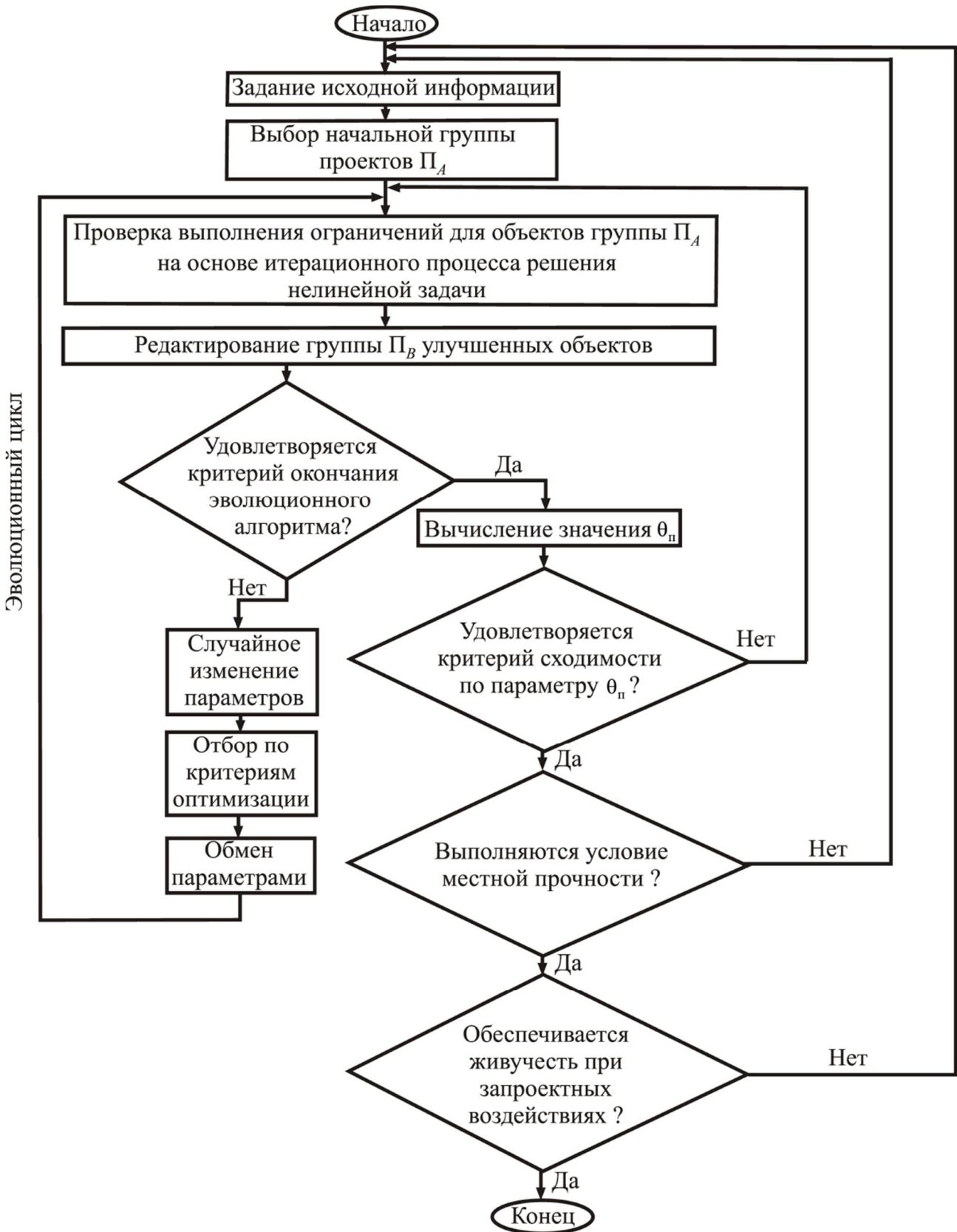


Рисунок 2 – Общая блок-схема итерационного процесса

ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ БАЛКИ

Рассматривался двухпролетный железобетонный ригель (рис. 3). Считалось, что балка загружена равномерно распределенными силами непродолжительного действия q_1 , q_2 и

нагрузкой от сил тяжести. Ряды арматурных стержней 1 и 3 располагаются по всей длине балки, ряды 2, 4 и 5 предназначены для усиления конструкции в наиболее загруженных зонах. Первоначально принимался коэффициент $\theta_n = 0,4$. Было выполнено 5 запусков эволюционного алгоритма, в каждом из которых не более чем за 140 итераций получался один и тот же набор значений изменяемых параметров. Запуск программы занимал не более часа машинного времени на ПК Intel Pentium Processor T4300 (2,10 GHz, 800 MHz FSB). Допустимые значения подбирившихся параметров и результаты эволюционной оптимизации приведены в таблице 1. Затем проводился подбор поперечной арматуры из условия отсутствия наклонных трещин [6]. В средних частях пролетов шаг поперечной арматуры составил 300 мм, в зонах опор – 150 мм. Был найден коэффициент $\theta_n = 0,467$, и вновь выполнялся эволюционный поиск. Результат эволюционного подбора параметров остался без изменений. С использованием методики СНиП [6] была подтверждена местная прочность синтезированной конструкции.

В рамках проверки живучести ригеля рассматривалось мгновенное удаление угловой связи над опорой *B*. Расчеты конструкции выполнялись на основе квазистатического подхода работы [11]. Установлено, что при таком запроектном воздействии в растянутом бетоне возникают трещины в центральной части пролетов *AB* и *BC* (рис. 4). При этом максимальная ширина раскрытия трещин составила 0,8 мм. Относительные деформации в сжатом бетоне не превысили значений, соответствующих нормативному сопротивлению. В то же время в растянутой арматуре напряжения достигали предела текучести стали. Максимальный прогиб балки составил 16 мм. Обрушение элементов конструкции не прогнозируется.

Таблица 1 – Результаты оптимизации железобетонного ригеля

№ параметра	Обозначение параметров, размерности	Допустимые значения варьируемых параметров	Результат оптимизации
1	b_1 , см	20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60	35
2	b_2 , см	20; 25; 30; 35; 40; 45; 50; 60	25
3	h_1 , см	17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30	17,5
4	h_2 , см	17,5; 20; 22,5; 25; 27,5; 30	30
5	(d_1, m_1) , (мм, шт.)	(16, 2); (18, 2); (20, 2); (22, 2)	(20, 2)
6	(d_2, m_2) , (мм, шт.)	(18, 1); (20, 1); (28, 1); (22, 2); (22, 3); (24, 3); (28, 2); (28, 3)	(22, 2)
7	(d_3, m_3) , (мм, шт.)	(16, 2); (18, 2); (20, 2); (22, 2)	(20, 2)
8	(d_4, m_4) , (мм, шт.)	(18, 1); (20, 1); (28, 1); (22, 2); (22, 3); (24, 3); (28, 2); (28, 3)	(28, 1)
9	(d_5, m_5) , (мм, шт.)	(18, 1); (20, 1); (28, 1); (22, 2); (22, 3); (24, 3); (28, 2); (28, 3)	(18, 1)
10	Класс бетона	B20; B25; B30; B35; B40; B45	B25
11	Класс арматуры	A300; A400; A500; A600	A400

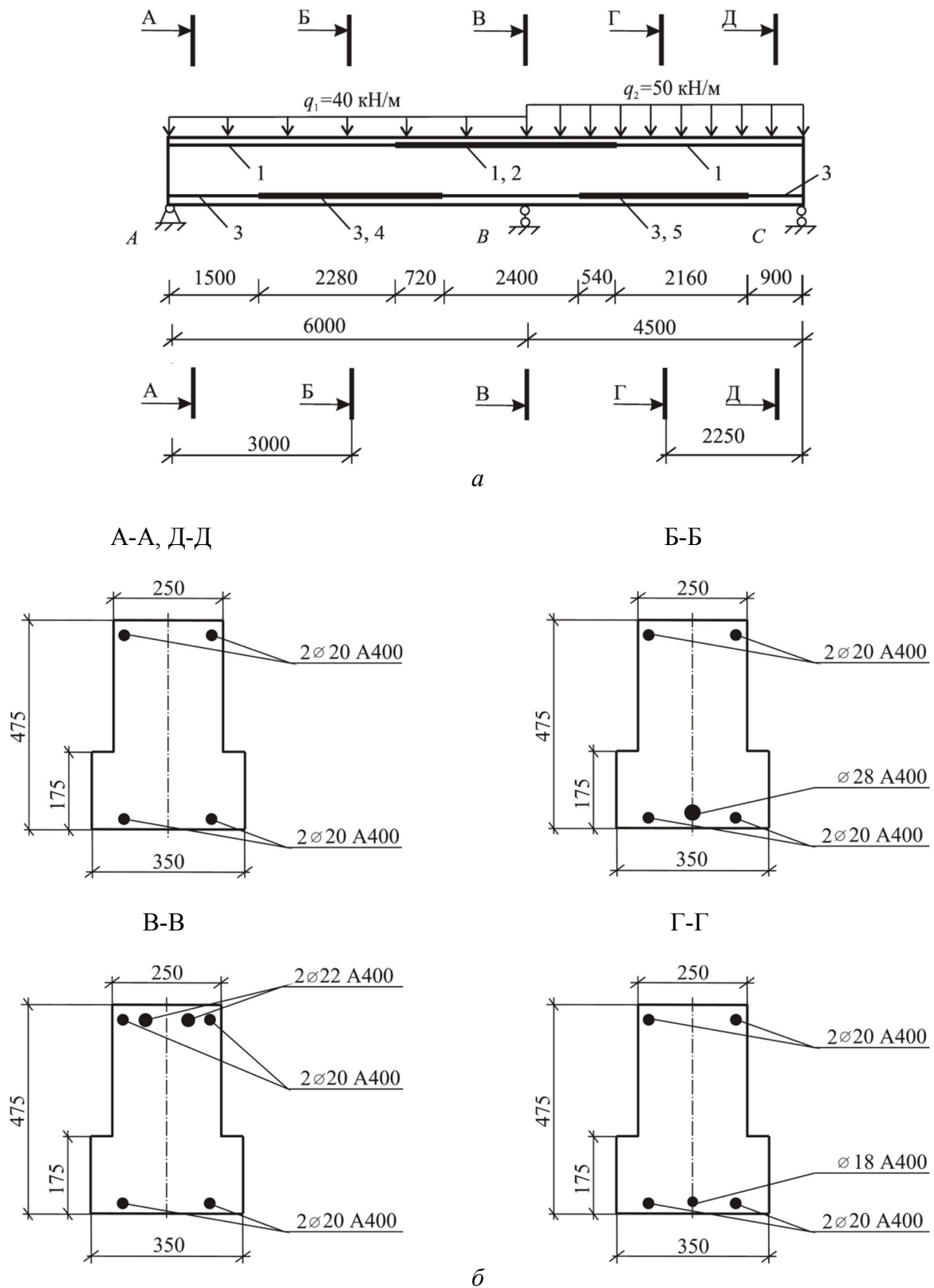


Рисунок 3 – Железобетонный ригель:
а – расчетная схема; б – поперечные сечения по результатам оптимизации

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная методика эволюционной оптимизации ненапрягаемых железобетонных балок позволяет осуществлять эффективный поиск параметров на дискретных множествах допустимых значений. Данная вычислительная схема может быть использована для автоматизи-

рованного проектирования железобетонных ригелей по критерию минимизации их производственной себестоимости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alqedra, M. Optimum cost of prestressed and reinforced concrete beams using genetic algorithms [Text] / M. Alqedra, M. Arafat, M. Ismail // J. of Artif. Intellig. – 2011. – №4 (1). – P. 76-88.
2. Senouci, A.B. Cost optimization of composite beams using genetic algorithms [Text] / A.B. Senouci, M.S. Al-Ansari // Adv. Eng. Software. – 2009. – № 40. – P. 1112-1118.
3. Серпик, И.Н. Структурно-параметрическая оптимизация стержневых металлических конструкций на основе эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев, Ф.Н. Левкович, А.И. Тютюнников // Известия вузов. Строительство. – 2005. – №8. – С. 16-24.
4. Серпик, И.Н. Оптимизация металлических конструкций путем эволюционного моделирования [Текст] / И.Н. Серпик, А.В. Алексейцев. – М.: АСВ, 2012. – 240 с.
5. Байков, В.Н. Железобетонные конструкции [Текст]: общий курс / В.Н. Байков, Э.Е. Сигалов. – М.: Стройиздат, 1991. – 767 с.
6. СНиП 52-01-2003. Бетонные и железобетонные конструкции [Текст] / Госстрой РФ. – М.: ГУП НИИЖБ Госстроя РФ, 2004. – 29 с.
7. Колчунов, В.И. Основные направления развития конструктивных решений и обеспечение безопасности жилища [Текст] / В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №10. – С. 12-15.
8. Бондаренко, В.М. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Клюева, В.И. Колчунов, Н.Б. Андросова // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2012. – №4. – С. 3-16.
9. Тамразян, А.Г. Ресурс живучести – основной критерий проектных решений высотных зданий [Текст] / А.Г. Тамразян // Жилищное строительство. – 2010. – №1. – С. 15-18.
10. Тамразян, А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений [Текст] / А.Г. Тамразян // Вестник МГСУ. – 2011. – Т. 1. – №2. – С. 77-83.
11. Серпик, И.Н. Методика оценки нагруженности конструкций при запроектных воздействиях с учетом нелинейной работы материалов [Текст] / И.Н. Серпик, И.В. Мироненко // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2012. – №4(42). – С. 54-60.
12. Серпик, И.Н. Расчетно-экспериментальная оценка эффективности использования многослойной схемы для анализа работы железобетонных балок [Текст] / И.Н. Серпик, Ю.В. Краснов, С.Н. Швачко, В.В. Грибанов, И.В. Мироненко и др. // Фундаментальные науки в строительстве: Труды VII Всероссийской науч.-практ. и учебно-методической конф. – М.: МГСУ, 2010. – С. 190-195.

И.Н. Серпик

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Механика»
Тел.: +7 (910) 337-46-81
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

И.В. Мироненко

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Преподаватель кафедры «Графика и геодезия»
Тел.: +7 (915) 806-55-12
E-mail: mirinns@mail.ru

I. SERPIK, I. MIRONENKO

THE OPTIMIZATION DESIGN OF REINFORCED CONCRETE BEAMS BASED ON THE EVOLUTIONARY SIMULATION

An algorithm optimization of reinforced concrete beam structures made with non-prestressed reinforcement using evolutionary simulation is developed. As a criterion function is considered the planned production cost value of structure. The cross sections dimensions of beams, number and diameter of the longitudinal reinforcement bars, the classes of concrete and reinforcement are varied. It was taking into account the limitations in strength, stiffness, crack resistance and survivability design of the structural system. The search is performed on a discrete set of parameters that correspond to the actual

Keywords: *reinforced concrete beam, optimal design, evolutionary simulation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Alqedra, M. Optimum cost of prestressed and reinforced concrete beams using genetic algorithms [Text] / M. Alqedra, M. Arafa, M. Ismail // J. of Artif. Intellig. – 2011. – №4 (1). – P. 76-88.
2. Senouci, A.B. Cost optimization of composite beams using genetic algorithms [Text] / A.B. Senouci, M.S. Al-Ansari // Adv. Eng. Software. – 2009. – № 40. – P. 1112-1118.
3. Serpik, I.N. Strukturno-parametricheskaja optimizacija sterzhnevyyh metallicheskih konstrukcij na osnove jevoljucionnogo modelirovaniya [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Alekseyev, F.N. Levkovich, A.I. Tjutjunnikov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2005. – №8. – S. 16-24.
4. Serpik, I.N. Optimizacija metallicheskih konstrukcij putem jevoljucionnogo modelirovaniya [Tekst] / I.N. Serpik, A.V. Alekseyev. – M.: ASV, 2012. – 240 s.
5. Bajkov, V.N. Zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst]: obshhij kurs / V.N. Bajkov, Je.E. Sigalov. – M.: Strojizdat, 1991. – 767 s.
6. SNiP 52-01-2003. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst] / Gosstroj RF. – M.: GUP NIIZhB Gosstroja RF, 2004. – 29 s.
7. Kolchunov, V.I. Osnovnye napravleniya razvitiya konstruktivnyh reshenij i obespechenie bezopasnosti zhilishha [Tekst] / V.I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2007. – №10. – S. 12-15.
8. Bondarenko, V.M. Nekotorye rezul'taty analiza i obobshheniya nauchnyh issledovaniy po teorii konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, N.B. Androsova // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2012. – №4. – S. 3-16.
9. Tamrazjan, A.G. Resurs zhivuchesti – osnovnoj kriterij proektnykh reshenij vysotnykh zdaniy [Tekst] / A.G. Tamrazjan // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2010. – №1. – S. 15-18.
10. Tamrazjan, A.G. Rekomendacii k razrabotke trebovanij k zhivuchesti zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / A.G. Tamrazjan // Vestnik MGSU. – 2011. – T. 1. – №2. – S. 77-83.
11. Serpik, I.N. Metodika ocenki nagruzhennosti konstrukcij pri zaproektnykh vozdeystvijah s uchetom nelinejnoj raboty materialov [Tekst] / I.N. Serpik, I.V. Mironenko // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2012. – №4(42). – S. 54-60.
12. Serpik, I.N. Raschetno-jeksperimental'naja ocenka jeffektivnosti ispol'zovaniya mnogoslujnoj shemy dlja analiza raboty zhelezobetonnykh balok [Tekst] / I.N. Serpik, Ju.V. Krasnov, S.N. Shvachko, V.V. Griбанov, I.V. Mironenko i dr. // Fundamental'nye nauki v stroitel'stve: Trudy VII Vserossijskoj nauch.-prakt. i uchebno-metodicheskoy konf. – M.: MGSU, 2010. – S. 190-195.

I. Serpik

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk
Doctor of technical science, head of department «Mechanics»
Ph.: +7 (910) 337-46-81
E-mail: iserpik@online.debryansk.ru

I. Mironenko

Bryansk state technological academy of engineering, Bryansk
lecturer of department «Graphics and geodesy»
Ph: +7 (915) 806-55-12
E-mail: mirinns@mail.ru

СКЛЯДНЕВ А.И., ПОПОВА Г.Н., ПОПОВА Н.Ю.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ СТАЛЬНОГО ВНЕЦЕНТРЕННО-НАГРУЖЕННОГО СТЕРЖНЯ ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ ПО УСЛОВИЮ ПРОЧНОСТИ

В статье представлена методика определения оптимальных размеров стального внецентренно-нагруженного двутаврового сечения. Полученные результаты представлены в виде графиков.

Ключевые слова: внецентренно-нагруженный стержень, центр тяжести, момент инерции полок двутавра, несимметричный двутавр, идеальный двутавр, тавр, симметричный двутавр, прямоугольное сечение, оптимальная площадь поперечного сечения, гибкость стенки, условие прочности.

Внецентренное нагружение стержней характеризуется одновременным действием продольной силы (N) и изгибающего момента (M) в сечениях и является наиболее общим случаем нагружения. В предельных случаях, когда $M=0$, $N \neq 0$ стержень рассматривается как центрально сжатый, а при $N=0$ и $M \neq 0$ стержень является балкой.

Внецентренное нагружение возникает в колоннах каркасов многоэтажных зданий, в рамных балочных системах, в стойках различного назначения и т.п. При проектировании часто используют двутавровое симметричное сечение, в котором вследствие внецентренного нагружения напряжения в одном из поясов меньше расчётного сопротивления. Размеры сечения, в том числе стенок и полок, а также высота, часто назначаются без учёта оптимальных соотношений, что, безусловно, приводит к перерасходу стали.

Рассмотрим двутавровое сечение, показанное на рисунке 1, в котором одновременно действуют продольная сила (N) и изгибающий момент (M).

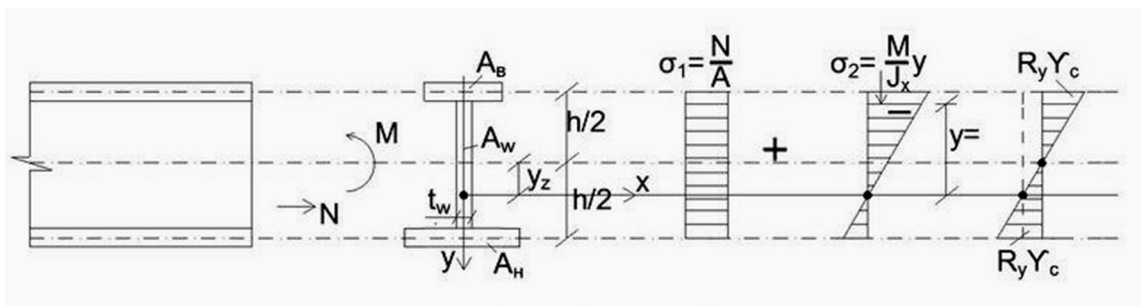


Рисунок 1 – Распределение напряжений в равнопрочном несимметричном двутавровом сечении при действии продольной силы (N) и изгибающего момента (M)

Для нахождения оптимальных размеров двутаврового сечения сделаем следующие допущения:

- полагаем, что высота сечения (h) равна расстоянию между центрами тяжести поясов.
- пренебрегаем собственными моментами инерции поясов.

Подобные допущения характерны для теории сортамента [1], а погрешность по отношению к точному решению при определении основных геометрических характеристик сечения составляет не более 1,5%.

С учётом указанных допущений положение центра тяжести оптимального сечения (y_z) определяется по формуле:

$$y_z = \frac{A_H - A_B}{A} \times \frac{h}{2} = n \times \frac{h}{2}, \quad (1)$$

где A_H – площадь пояса, в котором напряжения от N и M суммируются; A_B – тоже, в случае разных знаков; A_W – площадь сечения стенки.

Обозначая $k = \frac{A_W}{A}$, найдём момент инерции сечения относительно оси X:

$$I_x = \frac{A \times h^2}{4} \times \left(1 - \frac{2 \times k}{3} - n^2\right), \quad (2)$$

тогда моменты сопротивления для верхней и нижней полок соответственно:

$$W_{XB} = \frac{A \times h}{2} \times \frac{1 - \frac{2 \times k}{3} - n^2}{1 + n}; \quad (3)$$

$$W_{XH} = \frac{A \times h}{2} \times \frac{1 - \frac{2 \times k}{3} - n^2}{1 - n}. \quad (4)$$

Обозначим гибкость стенки $\lambda_w = \frac{h}{t_w}$ (t_w – толщина стенки), тогда $t_w = \frac{h}{\lambda_w} = \frac{k \times A}{h}$ и

$$h = \sqrt{\lambda_w \times k \times A}. \quad (5)$$

Нетрудно видеть, что при $A = const$ наибольшие моменты сопротивления с учётом (5) получатся при

$$k = \frac{1}{2} \times (1 - n^2) \quad (6)$$

и составят соответственно:

$$W_B = \frac{A \times h}{3} \times (1 - n); \quad W_H = \frac{A \times h}{3} \times (1 + n). \quad (7)$$

Условия равнопрочности полок:

$$\frac{M}{W_B} - \frac{N}{A} = R_y \times \gamma_c; \quad \frac{M}{W_B} + \frac{N}{A} = R_y \times \gamma_c \quad (8)$$

могут быть преобразованы к виду:

$$\frac{3 \times M}{A \times h \times (1 - n^2)} = R_y \times \gamma_c; \quad (9)$$

$$n = \frac{N}{A \times R_y \times \gamma_c}, \quad (10)$$

где R_y – расчётное сопротивление стали и γ_c – коэффициент условий работы по СНиП [2].

Учитывая условия равнопрочности (9) и (10) и формулы (5) и (6) найдём оптимальную высоту сечения двутавра:

$$h = \sqrt[3]{\frac{3}{2} \times \frac{M \times \lambda_w}{R_y \times \gamma_c}}, \quad (11)$$

а из уравнения (6) с учётом (10) определим требуемую площадь поперечного сечения:

$$A = \frac{3}{2} \times \frac{M}{h \times R_y \times \gamma_c} \times \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4}{9} \times \left(\frac{h}{e}\right)^2}\right], \quad (12)$$

($e = \frac{M}{N}$ – эксцентриситет приложения продольной силы), тогда площади сечения стенок и полок:

$$A_w = \frac{h^2}{\lambda_w}; \quad (13)$$

$$A_H = \frac{1}{2} \times (A - A_w + \frac{N}{R_y \times \gamma_c}); \quad (14)$$

$$A_B = A_H - \frac{N}{R_y \times \gamma_c}. \quad (15)$$

При наличии нескольких характерных сечений с разными комбинациями усилий N и M необходимо выполнить подбор сечения по наиболее опасной комбинации, и в отдельных случаях после проверки других сечений возможна корректировка.

Таким образом, формулы (11)...(15) позволяют определить основные размеры сечения несимметричного двутавра, при которых достигается минимальный расход стали. Рассуждая аналогично, найдены наилучшие размеры других вариантов сечений, в частности формулы для определения наименьших площадей поперечных сечений:

- для симметричного двутавра

$$A_{min} = \frac{N}{R_y \times \gamma_c} \times (\frac{3 \times e}{h} + I); \quad (16)$$

- для тавра ($A_B = 0$):

$$A_{min} = \frac{N}{R_y \times \gamma_c} \times \left[\frac{3 \times e}{h} - 1 + \sqrt{(\frac{3 \times e}{h} - 1)^2 + 3} \right]; \quad (17)$$

- для идеального двутавра ($A_w = 0$)

$$A_{min} = \frac{N}{R_y \times \gamma_c} \times \frac{e}{h} \times \left[I + \sqrt{I + (\frac{h}{e})^2} \right]; \quad (18)$$

- для прямоугольного сечения ($A_H = A_B = 0$)

$$A_{min} = \frac{N}{R_y \times \gamma_c} \times (\frac{6 \times e}{h} + I). \quad (19)$$

Требуемая площадь поперечного сечения зависит от величины действующих усилий (M и N), расчётного сопротивления стали (R_y) и гибкости стенки (λ_w). На рисунке 2 в графической форме представлены результаты определения оптимальных площадей разных поперечных сечений в координатах A_{min} - e . При $R_y \gamma_c = 230 \text{ МПа}$; $N = 400 \text{ кН}$ и $N = 800 \text{ кН}$, $\lambda_w = 50$.

Анализ формул (12) и (16)...(19) и графиков (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы:

1. Гибкость стенки (λ_w) оказывает существенное влияние на расход стали, что хорошо видно из сопоставления графиков площади поперечного сечения идеального двутавра с другими сечениями, в частности, для несимметричного двутавра потенциальная теоретическая экономия составляет в наших примерах 20...30%.

2. Наименьшей эффективностью обладает прямоугольное сечение ($A_B = A_H = 0$), расход стали в котором по сравнению с несимметричным сечением возрастает ориентировочно в 1,8...2,2 раза.

3. Часто используемый при проектировании симметричный двутавр для случая внецентренного нагружения существенно уступает несимметричному двутавру, при этом в нашем примере экономия стали при оптимальном проектировании составляет для $N=400 \text{ кН}$ от 9,4 до 24%, для $N=800 \text{ кН}$ – от 11,4 до 25%.

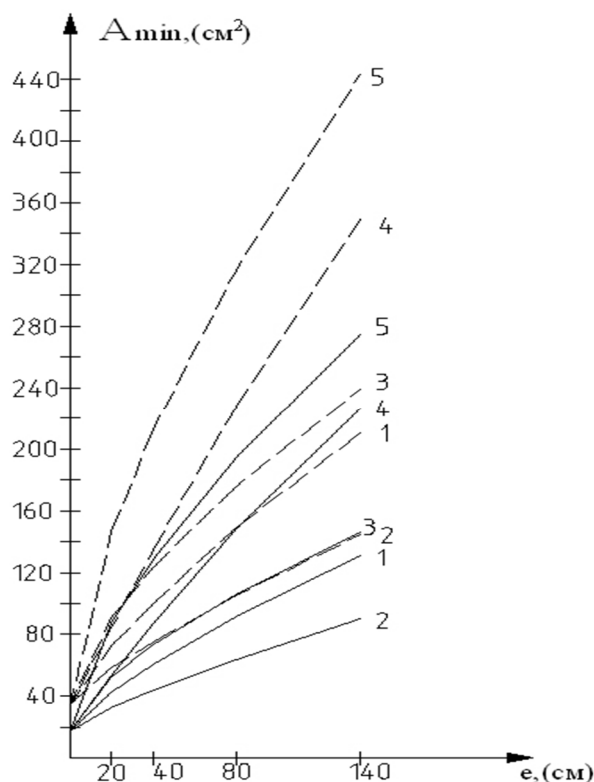


Рисунок 2 – График оптимальных площадей поперечных сечений разных профилей, в том числе для 1 – несимметричного двутавра; 2 – идеального двутавра; 3 – симметричного двутавра; 4 – тавра; 5 – прямоугольника (сплошная линия – для $N=400$ кН; штриховая линия – для $N=800$ кН)

Предложенная методика определения оптимальных размеров стального внецентренно-нагруженного стержня двутаврового сечения позволит достичь экономии стали в процессе проектирования строительных стальных конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплун, Я.А. Стальные конструкции из широкополочных двутавров и тавров [Текст] / Я.А. Каплун, под ред. Н. П. Мельникова. – М.: Стройиздат, 1981. – 143 с.
2. СНиП II-23-81*. Стальные конструкции [Текст] / Госстрой России – М.: ГУП ИПП, 2003. – 90 с.

А.И. Складнев

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Архитектура»
 Тел.: +7 (4742) 32-80-76

Г.Н. Попова

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
 Ассистент кафедры «Архитектура»
 Тел.: (4742) 32-82-41
 E-mail: nadya2007galina28@yandex.ru

Н.Ю. Попова

Липецкий государственный технический университет, г. Липецк
 Студент
 Тел.: +7 904 688 12 12
 E-mail: natalyae1hpopova2009@yandex.ru

A. SKLYADNEV, G. POPOVA, N. POPOVA

DETERMINATION OF THE OPTIMAL SIZE OF STEEL ECCENTRICALLY - LOADED ROD ON THE CONDITION OF I-SECTION STRENGTH

The paper presents a methodology for determining the optimal size of an eccentrically-loaded steel I-section. The results are shown in graph form.

Keywords: *eccentrically-loaded rod, center of gravity, moment of inertia of the I-beam flanges, unsymmetrical girders, perfect girders, brands, symmetrical girders, rectangular section, optimal cross-sectional area, flexible wall, strength condition.*

BIBLIOGRAPHY

1. Kaplun, Ja.A. Stal'nye konstrukcii iz shirokopolochnyh dvutavrov i tavrov [Tekst] / Ja.A. Kaplun, pod red. N. P. Mel'nikova. – M.: Strojizdat, 1981. – 143 s.
2. SNiP II-23-81*. Stal'nye konstrukcii [Tekst] / Gosstroj Rossii – M.: GUP IPP, 2003. – 90 s.

A. Sklyadnev

Lipetsk state technical university, Lipetsk
Doctor of technical sciences, professor, head of department «Architecture»
Ph.: +7 (4742) 32-80-76

G. Popova

Lipetsk state technical university, Lipetsk
Assistant of the department «Architecture»
Ph.: (4742) 32-82-41
E-mail: nadya2007galina28@yandex.ru

N. Popova

Lipetsk state technical university, Lipetsk
Student
Ph.: +7 904 12 12 688
E-mail: natalyaelhpopova2009@yandex.ru

СПОСОБ УПРАВЛЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СИСТЕМ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ЖИЛЫХ МАССИВАХ

Данная статья посвящена очистке дымовых газов теплогенераторов систем автономного теплоснабжения. В ней описывается насадка для очистки дымовых газов, ее характеристики и методика проведения эксперимента для определения данных, необходимых для расчета опытно-промышленного образца.

Ключевые слова: теплогенератор, очистка дымовых газов.

В последнее время при выборе систем теплоснабжения жилых зданий часто приоритет отдают системам автономного и квартирного теплоснабжения.

Поквартирное теплоснабжение – это система, состоящая из источника тепла и потребителя. Под термином «потребитель» понимают системы отопления, горячего водоснабжения, вентиляции и технологического снабжения горячей водой жилых, общественных и производственных зданий.

Источниками тепла могут быть крышные, встроенные или пристроенные котельные, индивидуальные котлы. Внешние тепловые сети, как правило, отсутствуют. Топливом для таких источников тепла обычно является природный газ или мазут.

Преимущества автономного теплоснабжения:

- значительное сокращение сроков строительства;
- уменьшение капитальных затрат, что позволяет снизить себестоимость отпускаемой тепловой энергии в несколько раз;
- снижение теплопотерь и исключение утечек при транспортировке по наружным тепловым сетям (ввиду их отсутствия);
- исключение затрат на ремонт и эксплуатацию теплотрасс;
- снижение затрат на строительство дымовой трубы;
- независимое теплоснабжение и возможность местного регулирования тепловой нагрузки [1].

Так как производство тепловой энергии для коммунальных нужд, как и во всей энергетике, неизменно сопряжено с негативным воздействием на окружающую среду, то эта проблема относится также и к поквартирному теплоснабжению, причем для него она имеет еще более острое значение. Если на ТЭС и крупных котельных выбросы производятся на некотором расстоянии от жилья с большой высоты, дающей возможность рассеиваться в атмосфере вредным примесям, то в поквартирном теплоснабжении выбросы теплогенераторов производятся в непосредственной близости от жилья и с небольшой высоты, что резко снижает санитарно-гигиенический комфорт проживающих рядом людей [2].

С целью управления экологической безопасностью автономных систем теплоснабжения, работающих на природном газе, предлагается насадка на дымовую трубу для очистки дымовых газов [3]. Способ очистки дымовых газов, положенный в основу этих решений, основан на методе адсорбции. В качестве адсорбента используются доменные гранулированные шлаки с модулем основности $M > 1$ [4].

Доменный гранулированный шлак представляет собой мелкозернистый материал в виде пористых стекловидных или кристаллических гранул со средним размером 2-8 мм. Плотность шлака в зависимости от состава составляет 2,8-3,0 г/см³, твердость зёрен 5-8. Химический состав шлака в зависимости от состава исходной руды и вида выплавленного чугуна находится в широких пределах: CaO – 30-49%; Al₂O₃ – 4,5-20%; SiO₂ – 33-44%; Fe₂O₃ – 0,3-

0,8%; MgO – 1,5-15%; MnO – 0,3-3,0%. Фазовый состав шлаков представлен кристаллическими и стекловидной фазами с различным соотношением стекла и кристаллов. Кристаллические фазы доменных шлаков: мелилиты, двухкальциевый силикат, волластонит, монтичеллит, форстерит, шпинель. Стекловидная фаза шлаков представляет собой кальциево-магниево-алюмосиликатное стекло переменного состава.

Доменный гранулированный шлак получается из побочного продукта производства железа в доменной печи, где железная руда, известняк и кокс плавятся при температуре 1500°C. При плавке этих материалов получают два продукта – литое железо и литой шлак. Литой шлак легче и плавает на поверхности литого железа, (см. схематическую диаграмму ниже). Литой шлак включает главным образом силикаты и глинозем от исходной железной руды, объединенной с небольшим количеством окисей известняка. Гранулированный шлак получают в установке придоменной грануляции. Доменный шлак имеет модуль основности $M > 1$, его структура обладает высокой пористостью, он способен хорошо адсорбировать различные окислы, например, оксиды азота. Кроме того, доменный гранулированный шлак доступен и имеет невысокую цену.

Насадка для дымовой трубы (рис. 1) содержит вертикальный корпус 1, состоящий из верхнего и нижнего стыковочных узлов 2 и 3, с размещенной внутри перфорированной решетки 4, на которой установлены перфорированные вертикальные 5 и перфорированные зигзагообразные кассеты 6, образующие между собой восходящие газовые каналы 7. Перфорированные вертикальные кассеты 5 и зигзагообразные перфорированные кассеты 6 заполнены доменным гранулированным шлаком 8 первого сорта диаметром гранул от 5 до 10 мм. Вертикальные и зигзагообразные перфорированные кассеты, а так же перфорированная решетка имеют отверстия диаметром 3,5 мм и выполнены из коррозионностойкого материала. Габаритные размеры насадки 600×400×400 мм.

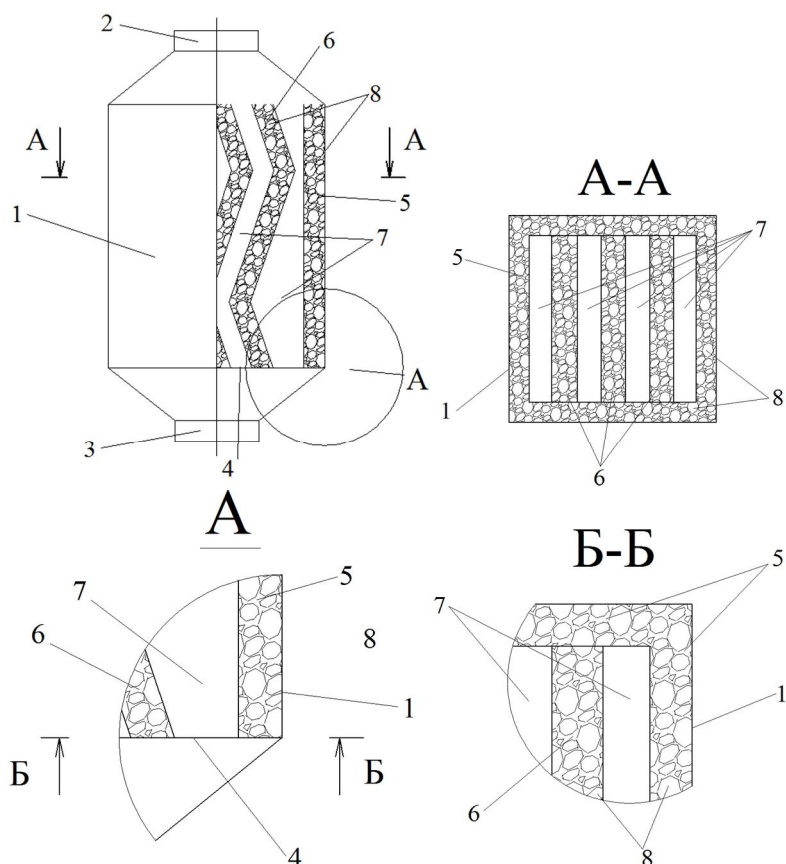


Рисунок 1 – Насадка на дымовую трубу: 1 – корпус; 2 – верхний стыковочный узел; 3 – нижний стыковочный узел; 4 – перфорированная решетка; 5 – перфорированные вертикальные кассеты; 6 – перфорированные зигзагообразные кассеты; 7 – восходящие газовые каналы; 8 – доменный гранулированный шлак

Насадка на дымовую трубу 1 монтируется на теплогенератор 2 (рис. 2) и присоединяется к теплогенератору с помощью нижнего стыковочного узла 3. Верхний стыковочный узел 4 насадки 1 присоединяется к дымовой трубе 5.

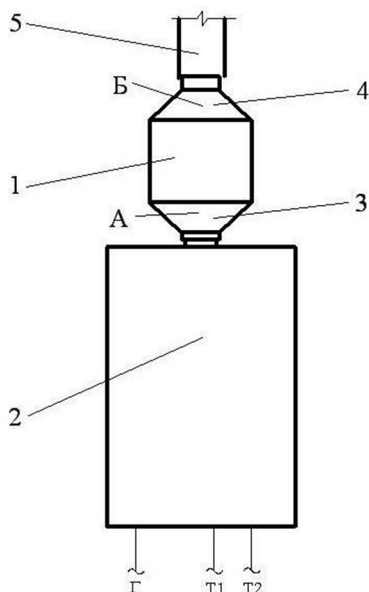


Рисунок 2 – Схема монтажа насадки на теплогенератор

Во время работы теплогенератора дымовые газы поднимаются вверх и проходят через нижний стыковочный узел и насадку. В насадке происходит адсорбция вредных веществ [6] доменным гранулированным шлаком. При взаимодействии дымовых газов с доменным шлаком происходит как физическая адсорбция, так и химическая (хемосорбция) [7]. При хемосорбции кислотные оксиды дымовых газов (CO , NO_x , SO_2 , CO_2 , CO) взаимодействуют с основными оксидами доменного шлака (CaO , MgO). Чем выше содержание основных оксидов в доменном шлаке (выше модуль основности шлака), тем выше процесс хемосорбции, а вследствие чего и выше очистка газов. После чего очищенные дымовые газы через верхний стыковочный узел поступают в дымовую трубу и выбрасываются в атмосферу. Для оценки эффективности работы насадки проводили измерение концентрации вредных веществ в дымовых газах до насадки (в точке А, рис. 2) и после насадки (в точке Б, рис. 2). Для определения количества вредных веществ в дымовых газах использовали газоаналитический прибор MSI 150 PRO [8], который определяет: температуру газа, температуру воздуха, концентрации O_2 , CO , NO_x , SO_2 , CO_2 , CO . Результаты эксперимента показывают, что в зависимости от режима горения теплогенератора предлагаемая насадка для дымовой трубы очищает дымовые газы от вредных примесей более чем на 50%.

Результаты проведенных исследований показывают:

1. Предложенный способ управления экологическими характеристиками систем теплоснабжения позволяет определить эффективность очистки дымовых газов от вредных компонентов теплогенераторов систем автономного теплоснабжения жилых зданий;

2. Реализация данного способа обеспечивается конструкцией насадки, позволяющей укомплектовать действующие и устанавливаемые теплогенераторы систем поквартирного теплоснабжения компактными устройствами для очистки дымовых газов от вредных газообразных примесей, образующихся в результате сжигания топлива, без использования дорогостоящих и вредных реагентов;

3. Конструкция данной насадки снижает количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, что улучшает ее экологические характеристики в районе жилых массивов, повышая тем самым санитарно-гигиенический комфорт проживающих в них людей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазурова, О.К. Бутенко Автономное теплоснабжение: Учебное пособие / О.К. Мазурова, Н.В. Кузнецов, А.Н. Бутенко. – Ростов-на-Дону: Рост. гос. строит. ун-т, 2011. – 143 с.
2. Делягин, Г.Д. Теплогенерирующие установки [Текст] / Г.Д. Делягин [и др.]. – М.: Стройиздат, 1986. – 580 с.
3. Пат. 2464072 Российская федерация МПК7 В 01 D 53/74. Насадка для дымовой трубы [Текст] / В.С. Ежов, Н.С. Соколенко; заявитель и патентообладатель Юго-Западный государственный университет (ЮЗГУ). №2464072; опубл. 20.10.2012. Бюл. №29.
4. ГОСТ 3476-74 Шлаки доменные и электротермофосфарные гранулированные для производства цементов [Текст]. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1976. – 5 с.
5. Кельцев, Н.В. Основы адсорбционной техники [Текст]. 2-е изд., перераб. и доп. / Н.В. Кельцев. – М., Химия, 1984 – 592 с.
6. Грег, С. Адсорбция, удельная поверхность, пористость [Текст] / С. Грег, К. Синг. – М.: Мир, 1984. – 310 с.
7. Руководство по эксплуатации газоаналитического прибора MSI 150 PRO, Калуга, 2002. – С. 9.

Н.С. Соколенко

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Аспирант кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

В.С. Ежов

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»

N. SOKOLENKO, V. EZHOV

WAY OF MANAGEMENT OF ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF SYSTEMS OF THE INDIVIDUAL HEAT SUPPLY IN INHABITED MASSIFS

This article is devoted to purification of smoke gases of heatgenerators of systems of an independent heat supply. In it installation for purification of smoke gases, its characteristics and a technique of carrying out experiment, for definition of the data necessary for calculation of a trial sample is described.

Keywords: *heatgenerator, purification of combustion gases.*

BIBLIOGRAPHY

1. Mazurova, O.K. Butenko Avtonomnoe teplosnabzhenie: Uchebnoe posobie / O.K. Mazurova, N.V. Kuznetsov, A.N. Butenko. – Rostov-na-Donu: Rost. gos. stroit. un-t, 2011. – 143 s.
2. Deljagin, G.D. Teplogenerirujushhie ustanovki [Tekst] / G.D. Deljagin [i dr.]. – M.: Strojizdat, 1986. – 580 s.
3. Pat. 2464072 Rossijskaja federacija MPK7 B 01 D 53/74. Nasadka dlja dymovoj truby [Tekst] / V.S. Ezhov, N.S. Sokolenko; zajavitel' i patentoobladatel' Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet (JuZGU). №2464072; opubl. 20.10.2012. Bjul. №29.
4. GOST 3476-74 Shlaki domennye i jelektrotermofosfarnye granulirovannye dlja proizvodstva cementov [Tekst]. – M.: IPK Izd-vo standartov, 1976. – 5 s.
5. Kel'cev, N.V. Osnovy adsorbcionnoj tehniki [Tekst]. 2-e izd., pererab. i dop. / N.V. Kel'cev. – M., Himija, 1984 – 592 s.
6. Greg, S. Adsorbcija, udel'naja poverhnost', poristost' [Tekst] / S. Greg, K. Sing. – M.: Mir, 1984. – 310 s.
7. Rukovodstvo po jekspluatacii gazoanaliticheskogo pribora MSI 150 PRO, Kaluga, 2002. – S. 9.

N. Sokolenko

Southwest state university, Kursk
Postgraduate student of Department «Heat and gas supply and ventilation»

V. Ezhov

Southwest state University, Kursk
Doctor of technical sciences, professor of department «Heat and gas supply and ventilation»

ТУРКОВ А.В., МАКАРОВ А.А.

ПРОГИБЫ И ЧАСТОТЫ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ СИСТЕМ ПЕРЕКРЕСТНЫХ БАЛОК С ПЛАСТИНАМИ ПО ВЕРХНЕМУ ПОЯСУ С УЧЁТОМ ПОДАТЛИВОСТИ СВЯЗЕЙ, КРЕПЯЩИХ ЭЛЕМЕНТЫ ПОКРЫТИЯ К СИСТЕМЕ

Рассматривается взаимосвязь основной частоты свободных поперечных колебаний ω систем перекрёстных балок с пластинами по верхнему поясу с различными размерами ячеек на квадратном плане и их максимальных прогибов W_0 при действии равномерно распределённой нагрузки в зависимости от податливости связей, крепящих элементы покрытия к системе перекрёстных балок. Построены зависимости прогибов и частот поперечных колебаний в зависимости от податливости крепления покрытия к системе. Показано, что податливость связей, крепящих элементы покрытия к системе перекрёстных балок, существенно влияет на прогибы и частоты колебаний конструкции.

Ключевые слова: система перекрёстных балок, жесткость узловых соединений, частота собственных колебаний, максимальный прогиб, элементы покрытия.

Выявленная профессором В.И. Коробко зависимость для упругих изотропных пластин постоянной толщины и произвольной формы [1], которая гласит: вне зависимости от граничных условий произведение максимального прогиба W_0 от действия равномерно распределённой нагрузки q на квадрат основной частоты колебаний балки в ненагруженном состоянии ω с точностью до размерного множителя q/m есть величина постоянная, и соответствует закономерности:

$$W_0 \cdot \omega^2 = K \frac{q}{m}, \quad (1)$$

где m – равномерно распределённая по площади масса пластины.

В настоящем исследовании рассматривается влияние податливости крепления элементов покрытия к СПБ на динамические и жесткостные характеристики СПБ. В качестве расчетной была принята система перекрёстных балок на квадратном плане 18×18 м. Размеры ячеек составляли от 1×1 м до 6×6 м.

Нейтральная ось в элементах системы проходит по центру сечения балок ($b \times h = 160 \times 1221$ мм), элементы покрытия в свою очередь опираются на систему сверху. Таким образом, расстояние между нейтральной осью сечения и элементами покрытия составляет половину высоты балки ($h/2 = 610,5$ мм). Это обстоятельство учитывается при задании расчётной схемы системы в программном комплексе SCAD следующим образом (рис. 2): элементы системы перекрёстных балок были разбиты на конечные элементы каждый длиной по 0,5 м. Эксцентриситет между нейтральной осью элементов СПБ и срединной поверхностью пластинчатых конечных элементов покрытия моделировался вертикальными стрелками высотой $h/2 = 610,5$ мм.

Элементы покрытия моделировались изотропными пластинами размером 500×500 мм. Пластина выполнена из древесно-стружечной плиты (ДСП) толщиной $\delta = 20$ мм, объемным весом $7,4$ кН/м³. Модуль упругости ДСП в расчётах принимался по паспорту на данный вид изделия $E = 30000$ МПа.

Элементы СПБ между собой в узлах соединяются с помощью стальных уголков и стальных нагелей (болтов, шпилек). Схема узлов приведена на рисунке 1. По контуру система перекрёстных балок опиралась в контурных узлах на шарнирные опоры. Постоянная нагрузка принята от покрытия (клефанерная плита) $q_{\text{покp}} = 0,156$ кН/м² и от собственного веса системы перекрёстных балок (сечение дощатоклееных элементов системы принято постоянным $b \times h = 160 \times 1221$ мм) $q_{\text{св}} = 0,187$ кН/м². Снеговая расчётная равномерно распределённая нагрузка

ка принималась $S_g = 1,8 \text{ кН/м}^2$. Суммарная равномерно распределенная статическая нагрузка составила $q = 2,143 \text{ кН/м}^2$. Для определения собственных частот колебаний в узлы системы прикладывались сосредоточенные грузы, интенсивность которых рассчитывалась по фактическому собственному весу конструкции и составил $G = 0,51 \text{ кН}$. Модуль упругости древесины в расчётах принимался по нормам [2] $E = 10000 \text{ МПа}$.

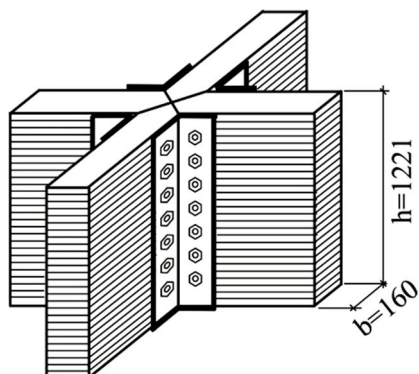


Рисунок 1 – Узел примыкания элементов

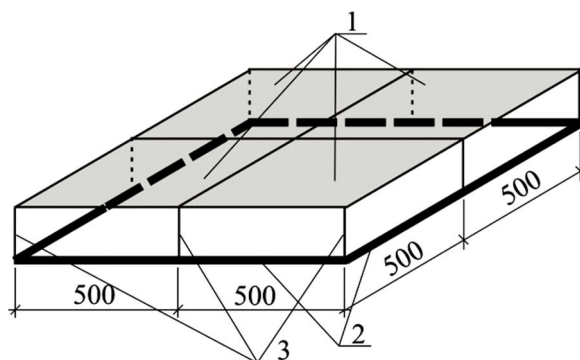


Рисунок 2 – Фрагмент расчетного элемента для системы с размером ячеек $1 \times 1 \text{ м}$:
 1 – пластина, разбитая с шагом $0,5 \times 0,5 \text{ м}$; 2 – конечный элемент системы перекрёстных балок;
 3 – вертикальные конечные элементы, моделирующие эксцентриситет между нейтральной осью элементов СПБ и срединной поверхностью пластинчатых элементов покрытия

Жесткость вертикальных конечных элементов изменялась от 0 (в практических расчётах принято $EI_x = 10^{-4} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$; $EI_y = 10^{-4} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$; $GI_{кр} = 10^{-4} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$, $EA = 1,9536 \cdot 10^6 \text{ Кн}$) до очень высокой жесткости – $EI_x = 10^{10} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$; $EI_y = 10^{10} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$; $GI_{кр} = 10^{10} \text{ Кн} \cdot \text{м}^2$, $EA = 1,9536 \cdot 10^6 \text{ Кн}$. При жёсткости вертикальных элементов, равных 0, покрытие не включается в совместную работу с системой перекрёстных балок, а при очень большой жёсткости вертикальных элементов податливость связей, крепящих элементы покрытия к СПБ, отсутствует. Соотношение жесткости вставки к жесткости элемента самой системы перекрёстных балок принято постоянным $EI_{вст.}/EI_{эл} = 0,03$.

При статическом расчете нагрузки были приложены в узлы. Исследования проводились методом конечных элементов. Расчет выполнялся в программном комплексе SCAD. В результате расчёта определялся максимальный прогиб и основная частота поперечных колебаний системы перекрёстных балок. Результаты расчета шарнирно опертой по контуру конструкции с различными размерами ячеек представлены на рисунках 3, 4 и 5. Они представляют собой графики изменения прогибов и частот колебаний, а также коэффициента $K_{расч}$ в зависимости от изменения податливости крепления пластины к системе.

Отклонение расчётных значений коэффициента $K_{расч}$ от аналитического вычислялось по формуле:

$$\Delta = \frac{K_{аналит} - K_{расч}}{K_{аналит}} \cdot 100\% \text{ и представлено в таблице 1.}$$

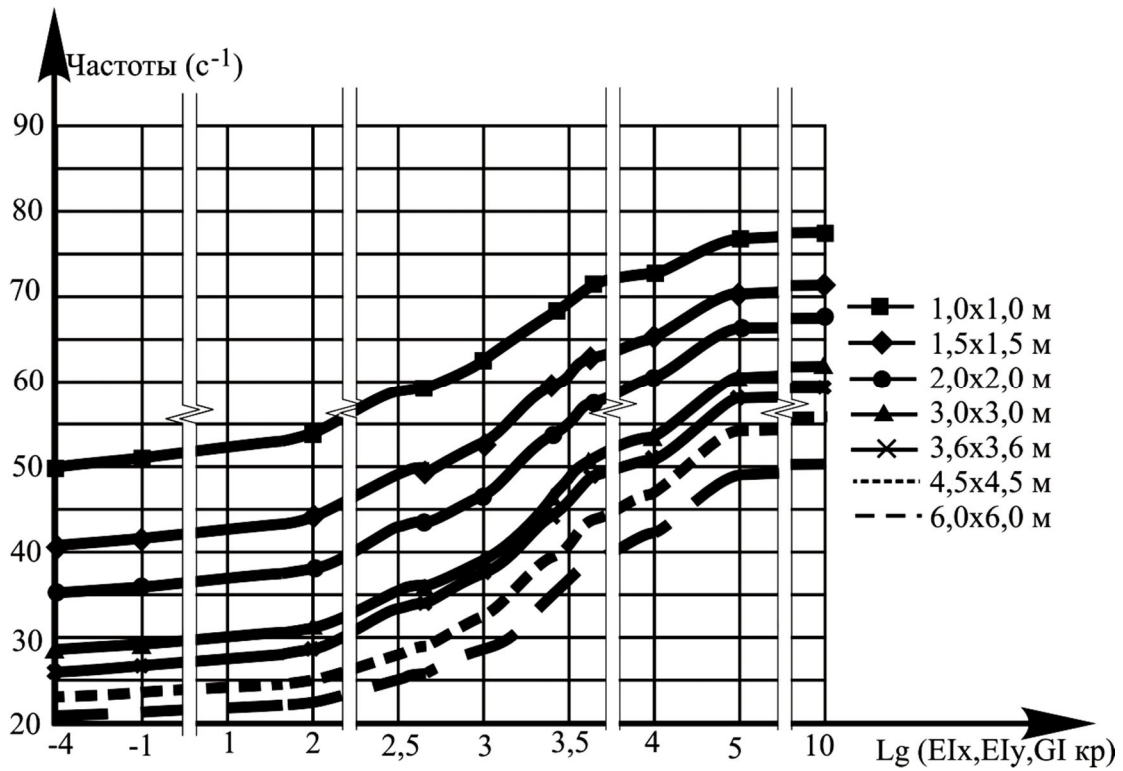


Рисунок 3 – Изменение частот собственных колебаний в зависимости от податливости крепления покрытия к системе при различных размерах ячеек с покрытием сверху

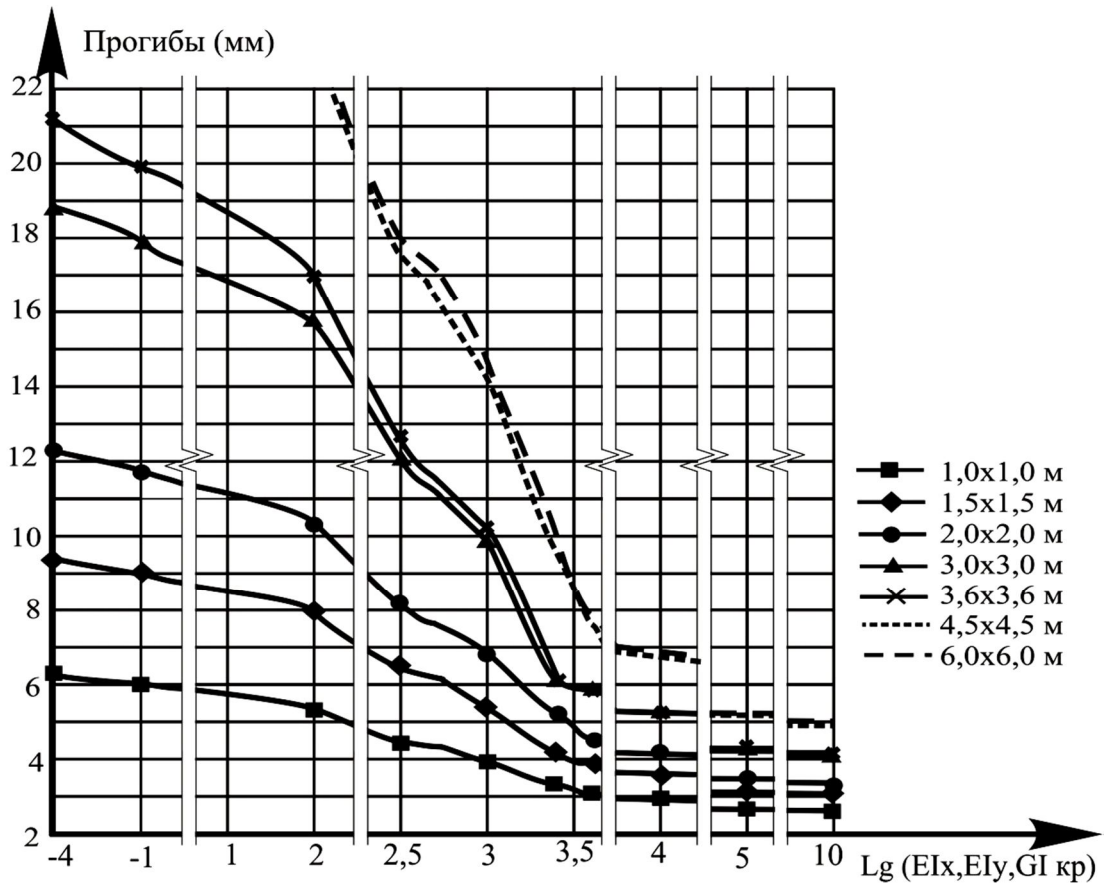


Рисунок 4 – Изменение прогибов в зависимости от податливости крепления покрытия к системе при различных размерах ячеек с покрытием сверху

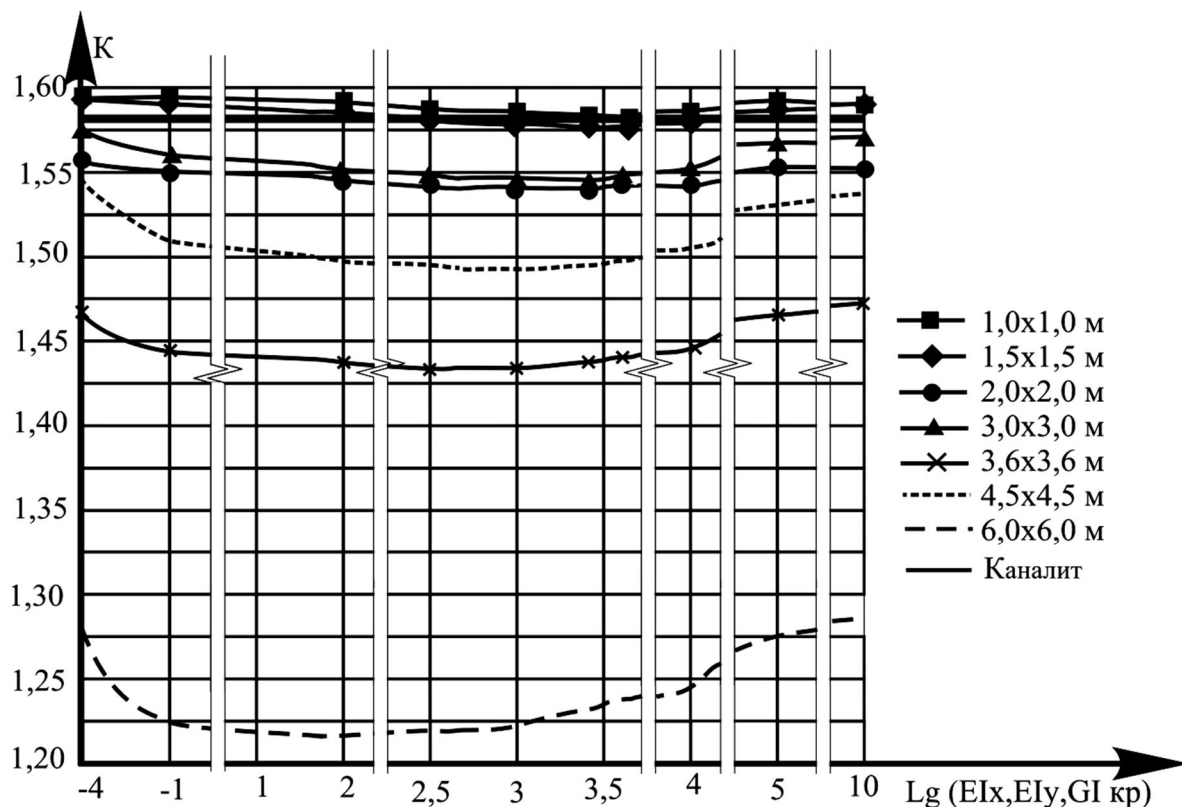


Рисунок 5 – Изменение коэффициента $K_{расч}$ в зависимости от податливости крепления покрытия к системе при различных размерах ячеек с покрытием сверху

Таблица 1 – Значения коэффициента $K_{расч}$ для различных размеров ячеек в зависимости от изгибной жёсткости вставок

$EI_x, EI_y, GI_{кр}$ вертикальных элементов	Значения коэффициента $K_{расч}$ Отклонение $K_{расч}$ от $K_{аналит.}$ в %						
	6,0×6,0 м	4,5×4,5 м	3,6×3,6 м	3,0×3,0 м	2,0×2,0 м	1,5×1,5 м	1,0×1,0 м
10^{10}	<u>1,286369</u> 18,69	<u>1,538156</u> 2,77	<u>1,473</u> 6,89	<u>1,570690</u> 0,71	<u>1,551693</u> 1,92	<u>1,590189</u> -0,52	<u>1,591465</u> -0,6
10^7	<u>1,285584</u> 18,74	<u>1,537255</u> 2,83	<u>1,472308</u> 6,93	<u>1,569909</u> 0,76	<u>1,555693</u> 1,66	<u>1,589678</u> -0,48	<u>1,591148</u> -0,58
10^5	<u>1,274715</u> 19,42	<u>1,531414</u> 3,2	<u>1,465015</u> 7,39	<u>1,566661</u> 0,96	<u>1,552734</u> 1,85	<u>1,587136</u> -0,32	<u>1,592408</u> -0,66
10^4	<u>1,245904</u> 21,25	<u>1,504954</u> 4,87	<u>1,446345</u> 8,57	<u>1,553078</u> 1,83	<u>1,541797</u> 2,54	<u>1,579372</u> -0,17	<u>1,585854</u> -0,24
$6 \cdot 10^3$	<u>1,237910</u> 21,75	<u>1,497936</u> 5,31	<u>1,440225</u> 8,96	<u>1,547807</u> 2,16	<u>1,541868</u> 2,54	<u>1,577418</u> -0,29	<u>1,583048</u> -0,07
$3 \cdot 10^3$	<u>1,229683</u> 22,27	<u>1,494105</u> 5,56	<u>1,436417</u> 9,2	<u>1,545438</u> 2,31	<u>1,538826</u> 2,73	<u>1,579605</u> 0,15	<u>1,584955</u> -0,19
10^3	<u>1,221802</u> 22,77	<u>1,493622</u> 5,59	<u>1,433970</u> 9,36	<u>1,547044</u> 2,21	<u>1,541101</u> 2,58	<u>1,579718</u> 0,14	<u>1,586539</u> -0,29
$5 \cdot 10^2$	<u>1,219219</u> 22,93	<u>1,495028</u> 5,5	<u>1,434368</u> 9,33	<u>1,549498</u> 2,05	<u>1,541641</u> 2,55	<u>1,581515</u> 0,03	<u>1,588321</u> -0,4
10^2	<u>1,216713</u> 23,09	<u>1,497896</u> 5,32	<u>1,436784</u> 9,18	<u>1,552101</u> 1,89	<u>1,545159</u> 2,33	<u>1,585779</u> -0,24	<u>1,591192</u> -0,58
10	<u>1,225814</u> 22,51	<u>1,509031</u> 4,61	<u>1,443836</u> 8,73	<u>1,560105</u> 1,38	<u>1,551496</u> 1,93	<u>1,589860</u> -0,5	<u>1,594346</u> -0,78
10^{-1}	<u>1,280364</u> 19,07	<u>1,544464</u> 2,37	<u>1,465594</u> 7,36	<u>1,574771</u> 0,46	<u>1,556470</u> 1,61	<u>1,592533</u> -0,67	<u>1,588160</u> -0,39
10^{-4}	<u>1,283220</u> 18,89	<u>1,545719</u> 2,29	<u>1,465903</u> 7,34	<u>1,575532</u> 0,41	<u>1,556867</u> 1,59	<u>1,593361</u> -0,72	<u>1,594978</u> -0,82

Учитывая большой диапазон изменения EI_x , EI_y , $GI_{кр}$ частоты изменяются на большом участке, поэтому кривая изменения частот имеет плавный характер, без резких скачков. Наиболее резкие изменения наблюдаются в пределах от 1000 до 3000 EI_x ; EI_y ; $GI_{кр}$.

В отличие от графика частот прогибы не изменяются столь же плавно. С увеличением размера ячеек прогибы в пределах от 0 до 3000 EI_x , EI_y , $GI_{кр}$ начинают резко снижаться, при этом достаточно медленно снижаются при дальнейшем увеличении жёсткости вертикальных элементов.

При небольших размерах ячеек наблюдается незначительное отклонение значения коэффициента K от его аналитического значения. Как следствие этого, графики практически сливаются. При увеличении размера ячеек проявляются максимальные отклонения коэффициента K от $K_{аналит}$, а затем значение вновь стремится к аналитическому значению. График имеет вид схожий на график параболы. Для систем с размером ячеек 1×1 м максимальное отклонение коэффициента K от аналитического значения составило 0,78%, минимальное – 0,19%; для ячеек 1,5×1,5 м max – 0,72%, min – 0,03%; для ячеек 2×2 м max – 2,73%, min – 1,59%; для ячеек 3×3 м max – 2,31%, min – 0,41%; для ячеек 3,6×3,6 м max – 9,36%, min – 6,89%; для ячеек 4,5×4,5 м max – 5,59%, min – 2,29%; для ячеек 4,5×4,5 м max – 23,09%, min – 18,69%.

Заключение

Податливость связей, крепящих элементы покрытия к системе перекрёстных балок, существенно влияет на прогибы и частоты колебаний конструкции. С увеличением жёсткости связей жёсткость всей конструкции увеличивается, а коэффициент K практически не изменяется.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коробко, В.И. Об одной «замечательной» закономерности в теории упругих пластинок [Текст] / В.И. Коробко // Изв. вузов. Строительство и архитектура. – 1989. – №11. – С. 32-36.
2. СНиП II-25-80. Деревянные конструкции [Текст]. – М.: Стройиздат, 1982. – 66 с.

А.В. Турков

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Городское строительство и хозяйство»

А.А. Макаров

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Аспирант

A. TURKOV, A. MAKAROV

DEFLECTIONS AND FREQUENCIES OF OWN FLUCTUATIONS OF SYSTEMS CROSS BEAMS WITH PLATES ON THE TOP BELT THE VARIOUS SIZES OF CELLS ON THE SQUARE PLAN TAKING INTO ACCOUNT PLIABILITY OF THE COMMUNICATIONS, FIXING COVERING ELEMENTS TO SYSTEM

The relation of the fundamental frequency ω of free transverse vibrations of systems of cross beams with plates on the top belt with different mesh sizes on a square plan and the maximum deflection of the action W_0 evenly spread the load is depending on a pliability of the communications, fixing cover-

ing elements to system of cross beams. Dependences of deflections and frequencies of transverse oscillations depending on a pliability of fastening of a covering to system are constructed. It is shown that the pliability of the communications, fixing covering elements to system of cross beams, significantly influences deflections and frequencies of fluctuations of a design.

Key words: *cross-beams, the stiffness of joints for, own-frequency oscillations, the maximum deflection, covering elements.*

BIBLIOGRAPHY

1. Korobko, V.I. Ob odnoj «zamechatel'noj» zakonomernosti v teorii uprugih platinok [Tekst] / V.I. Korobko // Izv. vuzov. Stroitel'stvo i arhitektura. – 1989. – №11. – S. 32-36.
2. SNiP II-25-80. Derevjannye konstrukcii [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1982. – 66 s

A. Turkov

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical sciences, head of department «Urban construction and management»

A. Makarov

State university – educational-science-production complex, Orel
Postgraduate student

ФЕДОРОВ С.С., ТЮТЮНОВ Д.Н., КЛЮЕВА Н.В.

УПРАВЛЕНИЕ СИСТЕМОЙ ОТОПЛЕНИЯ ЗДАНИЙ С ПОЗИЦИИ РЕСУРСОБЕРЕЖЕНИЯ

Предложена модификация функциональной схемы автоматического управления со смещением теплоносителя. Получен алгоритм схемы автоматического регулирования, предложенной системы отопления. Разработан вариант энергосбережения при управлении приводом системы отопления.

Ключевые слова: температура наружного воздуха, температура внутреннего воздуха, тепловая нагрузка, изменение температуры теплоносителя.

Рассмотрим стационарный режим работы контура тепловой нагрузки в направлении оси абсцисс, рисунок 1 (расход и температура рабочего тела, проходящего через клапан $V1$, состояние смесительного насоса N неизменно во времени, причем ветвь AB насоса N разблокирована).

Изменение температуры наружного воздуха Δt_n приводит к изменению температуры внутреннего воздуха Δt_k в помещении (тепловой нагрузке R).

В [1-3] применялась зависимость:

$$t_{он}(x) = c_1 e^{a_1 x} + c_2 e^{a_2 x} + t_k, \quad (1)$$

где $t_{он}(0) = t_1$; $t_{он}(\ell) = t_2$ – соответственно температура теплоносителя в подающем и обратном трубопроводе; t_k – температура в помещении, $^{\circ}C$, c_1, c_2 – постоянные интегрирования, определенные по формулам:

$$c_1 = \frac{(t_1 - t_k)e^{a_2 \ell} - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 \ell} - e^{a_1 \ell}}; \quad c_2 = -\frac{(t_1 - t_k)e^{a_2 \ell} - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 \ell} - e^{a_1 \ell}}, \quad (2)$$

где a_1, a_2 – константы, причем $a_1 < 0$ и $a_1 \approx -(8,05 \div 19,75) \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$; $a_2 > 0$ и $a_2 \approx (4,8 \div 12,2) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, $\ell \approx 450 \div 500 \text{ м}$ – линейная суммарная длина подающего и обратного трубопроводов.

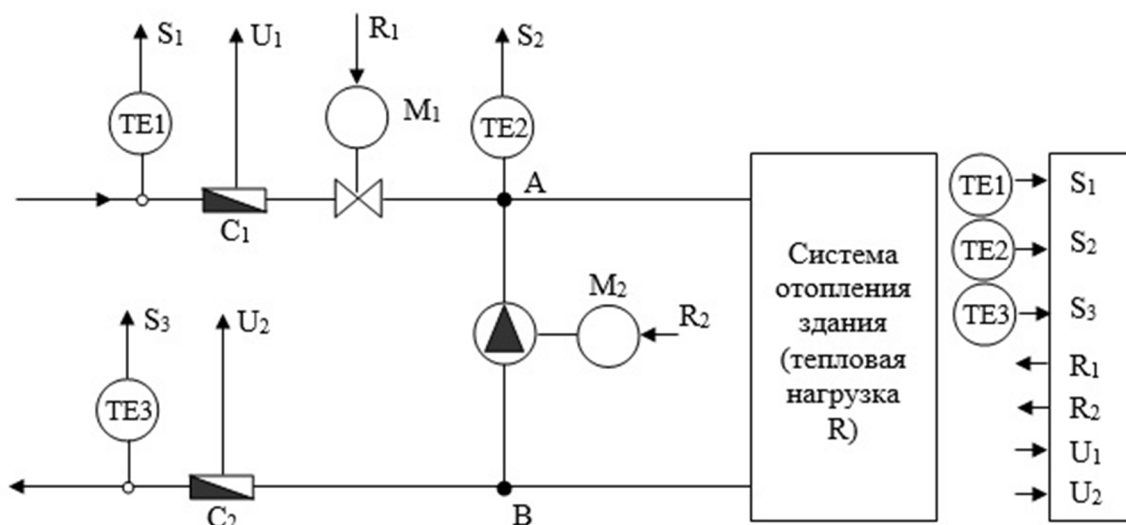


Рисунок 1 – Схема системы отопления объекта при зависимом подключении к тепловым сетям

Исследуем изменение $\Delta t_{он}$ от изменения Δt_k , используя (1). Вычислим $\Delta t_{он}$:

$$\begin{aligned} \Delta t_{он} &= t_{он}(t_{\kappa} + \Delta t_{\kappa}) - t_{он}(t_{\kappa}) = \\ &= \left[\frac{(t_1 - t_{\kappa} - \Delta t_{\kappa})e^{a_2 \ell} - (t_2 - t_{\kappa} - \Delta t_{\kappa})}{e^{a_2 \ell} - e^{a_1 \ell}} \cdot e^{a_1 x} - \right. \\ &\quad \left. - \frac{(t_1 - t_{\kappa} - \Delta t_{\kappa})e^{a_1 \ell} - (t_2 - t_{\kappa} - \Delta t_{\kappa})}{e^{a_2 \ell} - e^{a_1 \ell}} \cdot e^{a_2 x} + (t_{\kappa} + \Delta t_{\kappa}) \right] - \\ &= \Delta t_{\kappa} \left[\frac{(1 - e^{a_2 \ell})e^{a_1 x} + e^{a_2 x}(e^{a_1 \ell} - 1)}{e^{a_2 \ell} - e^{a_1 \ell}} + 1 \right]. \end{aligned}$$

Если учесть, что $a_1 \approx 0$, то $e^{a_1 x} \approx a^{a_1 \ell} \approx 1$, то имеем:

$$\Delta t_{он} \approx \Delta t_{\kappa} \cdot \left(\frac{1 - e^{a_2 \ell} - e^{a_2 x}}{e^{a_2 \ell}} + 1 \right) = \Delta t_{\kappa} \left(\frac{1 - e^{a_2 x}}{e^{a_2 \ell}} \right). \quad (3)$$

Учитывая, что $a_2 > 10^6 \text{ м}^{-1}$, то при $0 \leq x \leq \ell$ получим $e^{a_2 x} \geq 1$, а величина $e^{a_2 \ell} \gg 1$, тогда $\frac{1}{e^{a_2 \ell}} \approx 0$ и формула (2) примет вид:

$$\Delta t_{он} = -\Delta t_{\kappa} \frac{e^{a_2 x}}{e^{a_2 \ell}} = -\Delta t_{\kappa} e^{a_2(x-\ell)}. \quad (4)$$

Так как $x - \ell \leq 0$, то:

$$\Delta t_{он} \approx -\frac{\Delta t_{\kappa}}{e^{a_2(\ell-x)}}. \quad (5)$$

Величина $\Delta t_{он}$ имеет практический смысл при $\ell - x \sim 10^{-6} \text{ м}$, то есть при $x \approx \ell$, тогда:

$$\Delta t_{он} \approx -\Delta t_{\kappa}. \quad (6)$$

Полагая, что средняя длина трубопроводов главного циркуляционного кольца $x \approx \ell$, принимаем формулу (6) за рабочую для управления исполнительными механизмами системы управления отопления зданий и сооружений.

Знак «-» означает, что при увеличении Δt_{κ} величина $\Delta t_{он}$ должна уменьшаться и наоборот – при уменьшении Δt_{κ} величина $\Delta t_{он}$ должна увеличиваться.

Рассмотрим различные случаи изменения t .

а) Если температура наружного воздуха t_n возрастает на величину Δt_n , то соответственно возрастает температура внутреннего воздуха t_{κ} тепловой нагрузки R на величину Δt_{κ} . Тогда согласно формуле (5) необходимо уменьшить температуру $t_{он}$ в падающем трубопроводе на величину $\Delta t_{он} = -\Delta t_{\kappa}$.

Для ликвидации избытка температурного напора предполагается два варианта его коррекции: либо за счет частичного закрытия клапана $V1$ (уменьшения подачи теплоносителя из тепловой сети в контур системы отопления на величину ΔQ_1), либо за счет соответствующего увеличения расхода теплоносителя через смесительный насос N на величину ΔQ_N . Значения этих величин определяется с учетом [1] соответственно по формулам:

$$\Delta Q_1 = \frac{\Delta G_1(t_1 - t_2)C}{3,6}, \quad (7)$$

где ΔG_1 – уменьшение расхода горячей воды в подающем трубопроводе, кг/ч; $C = 4,266 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ – удельная теплоемкость воды при номинальной температуре подающего трубопровода $t_1 = 130^\circ\text{C}$; $t_2 = 70^\circ\text{C}$ – номинальная температура обратного трубопровода; $\Delta Q_1, \text{ Вт}$.

Следует отметить, что ΔQ_1 и ΔG_1 пропорциональны $\Delta t_{он}$.

$$\Delta G_1 \sim \Delta Q_1 \sim \Delta t_{он}. \quad (8)$$

Из [1] следует:

$$\Delta Q_N = 1,1n\Delta Q_1, \quad (9)$$

где $n = \frac{t_1 - t_A}{t_A - t_2}$, (10)

где t_A – температура воды за точкой А в контуре $ARBA_1$; °С (рис. 1).

б) Если температура наружного воздуха t_n убывает на величину Δt_n , то соответственно убывает температура внутреннего воздуха t_k тепловой нагрузки R на величину Δt_k . Тогда согласно формуле (5) необходимо увеличить температуру $t_{он}$ в подающем трубопроводе на величину $\Delta t_{он} = -\Delta t_k$.

Для ликвидации недостатка температурного напора по аналогии с пунктом а) существует возможность его стабилизации одним из двух способов: или за счет соответствующего открытия клапана $V1$ на величину ΔQ_1 , или за счет соответствующего уменьшения производительности смесительного насоса N на величину ΔQ_N . В этом случае вычисление производится по формулам (6)-(9).

Выводы

1. Получена зависимость изменения температуры внутреннего воздуха Δt_k в помещении от изменения температуры теплоносителя $\Delta t_{он}$ в подающем трубопроводе при стационарном режиме.
2. Получена рабочая формула регулирования температуры в отапливаемом помещении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С.С. Алгоритм автоматического управления приводом системы отопления зданий и сооружений [Текст] / С.С. Федоров, Н.С. Кобелев, Д.Н. Тютюнов // Известия ЮЗГУ. Курск: ЮЗГУ. – 2011. – №5. – Ч. 2 – С. 335-339.
2. Федоров, С.С. Системы автоматического регулирования параметров теплоносителя отапливаемых зданий [Текст] / С.С. Федоров, Н.С. Кобелев, Д.Н. Тютюнов // Вестник БГТУ им.В.Г. Шухова. – Белгород, 2010. – №4. – С. 111-115.
3. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1981. – 417с.

С.С. Федоров

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
 Преподаватель кафедры «Теплогазоснабжение и вентиляция»
 E-mail: ssfedorov@list.ru

Д.Н. Тютюнов

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
 Кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика»
 E-mail: tjutjunov@mail.ru

Н.В. Ключева

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
 Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»
 E-mail: klynavit@yandex.ru

S. FEDOROV, D. TYUTYUNOV, N. KLYUYEVA

MANAGEMENT OF SYSTEM OF HEATING OF BUILDINGS FROM THE POSITION OF RESOURCE SAVING

A modification of the functional scheme of automatic control with a coolant mixing and an algorithm for this automatic control scheme are suggested. A variant of energy saving when controlling the prime mover of heating system is developed.

Keywords: *outdoor air temperature, indoor air temperature, heat load, coolant temperature variation.*

BIBLIOGRAPHY

1. Fedorov, S.S. Algoritm avtomaticheskogo upravlenija privodom sistemy otopenija zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / S.S. Fedorov, N.S. Kobelev, D.N. Tjutjunov // Izvestija JuZGU. Kursk: JuZGU. – 2011. – №5. – Ch. 2 – S. 335-339.
2. Fedorov, S.S. Sistemy avtomaticheskogo regulirovanija parametrov teplonositelja otaplivaemyh zdaniy [Tekst] / S.S. Fedorov, N.S. Kobelev, D.N. Tjutjunov // Vestnik BGTU im. V.G. Shuhova. – Belgorod, 2010. – №4. – S. 111-115.
3. Isachenko, V.P. Teploperedacha [Tekst] / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Jenergija, 1981. – 417s.

S. Fedorov

Southwest state University, Kursk
Teacher of department «Heat and gas supply and ventilation»
E-mail: ssfedorov@list.ru

D. Tyutyunov

Southwest state University, Kursk
Candidate of technical sciences, associate professor of department «Higher mathematics»
E-mail: tjutjunov@mail.ru

N. Klyuyeva

Southwest state University, Kursk
Doctor of technical sciences, professor of department «Industrial and civil engineering»
E-mail: klynavit@yandex.ru

ФИМКИН А.И.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ КОТЕЛЬНИКОВА ПРИ ЧИСЛЕННОМ РЕШЕНИИ ОБРАТНЫХ НЕКОРРЕКТНЫХ ЗАДАЧ

В настоящей статье описывается пример применения функций Котельникова в качестве базисных при численном решении обратной задачи восстановления нагрузки, приложенной к исследуемому объекту, по известным напряжениям на его поверхности. Решается прямая задача воздействия на модель пластинки тестовой распределенной нагрузки, которая затем восстанавливается путем решения обратной задачи с использованием базисных функций Котельникова. Приведены результаты использования этих функций при определении остаточных напряжений в железнодорожных рельсах.

Ключевые слова: обратная некорректная задача, функции Котельникова, остаточные напряжения, расчетно-экспериментальная интерполяционная методика.

Большинство обратных задач строительной механики сводится к восстановлению внешнего силового, температурного либо иного воздействия на строительную конструкцию или сооружение по результатам экспериментального определения напряженно-деформированного состояния на части поверхности исследуемого объекта. Сложность решения подобных задач заключается в том, что они зачастую сформулированы в некорректной постановке. Связь между напряженным состоянием исследуемого объекта и внешним воздействием на него в этом случае не является непрерывной. Эта связь описывается интегральным уравнением Фредгольма I рода:

$$\int_{\Omega} H_{ij}^{(k)}(s, x) \sigma(x) d\Omega(x) = u(s) \quad s \in S; x \in \Omega, \quad (1)$$

где S – часть поверхности объекта, содержащая точки измерения деформаций; Ω – область, в которой ищется искомое воздействие; $H_{ij}^{(k)}(s, x)$ – ядро интегрального оператора, тензорная функция напряжений Грина.

Разработано много методов поиска приближенного решения уравнения (1), среди которых можно выделить метод регуляризации Тихонова [1]. Облегчить поиск решения может удачный выбор системы базисных функций в процедуре численной реализации алгоритма регуляризации. С этой целью предлагается использование функций Котельникова.

Известна теорема Котельникова [2, 3], которую применительно к решаемой задаче можно сформулировать следующим образом: любая непрерывная функция $f(x)$, спектр которой ограничен значением $\omega_B = 2\pi\gamma_B$, может быть без потерь информации представлена своими дискретными значениями $f(k\Delta)$, взятыми с интервалом Δ , удовлетворяющим следующему неравенству: $\Delta \leq 1/(2\gamma_B) = \pi/\omega_B$. Восстановление исходной непрерывной функции $f(x)$ по набору N его дискретных значений производится по формуле:

$$f(x) = \sum_{n=1}^N f_n \frac{\sin(\pi \frac{x - k\Delta_x}{\Delta_x})}{\pi \frac{x - k\Delta_x}{\Delta_x}}.$$

Здесь в отличие от традиционной формулировки теоремы Котельникова в качестве независимой переменной вместо времени используется пространственная координата.

В качестве примера применения функций Котельникова при решении обратных задач была рассмотрена задача восстановления нагрузки по известному напряженному состоянию в группе опорных точек на поверхности рассматриваемого объекта с помощью численного экс-

перимента. В качестве исследуемого объекта рассматривалась пластинка в форме прямоугольника с размерами $(L \times H)$ 60×18 см (рис. 1). Пластинка загружена в своей плоскости нагрузкой, распределенной по одной из коротких сторон. С противоположной стороны пластинка имеет закрепления. Самоуравновешенная нагрузка симметрична относительно оси X , состоит из двух линейных участков. T_1 - T_N – области вывода значений напряжений; на рисунке изображены в виде прямоугольников, моделирующих тензорезисторы в соответствующем физическом эксперименте.

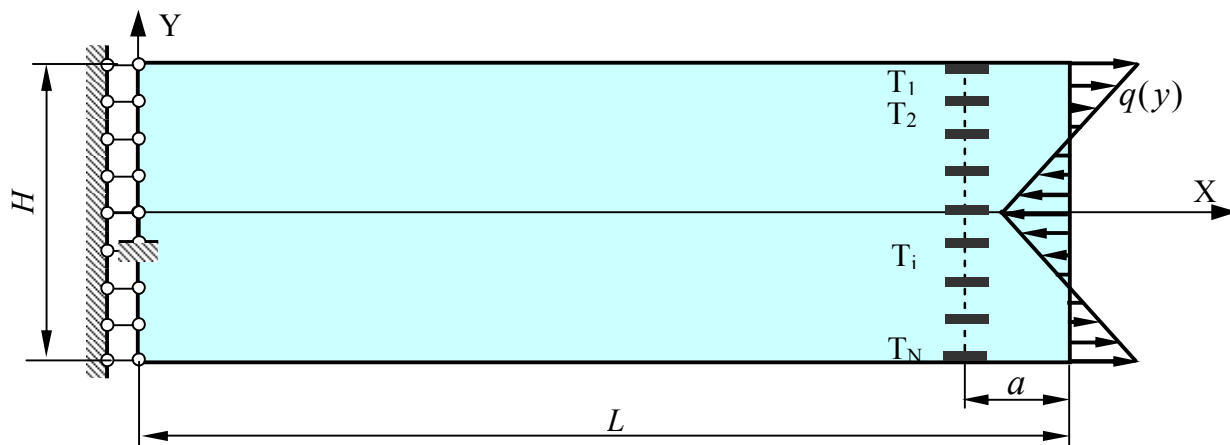


Рисунок 1 – Пластинка, загруженная самоуравновешенной нагрузкой

В основе численного эксперимента лежит расчёт пластинки методом конечных элементов. Топология модели регулярная; она состоит из 40 слоёв по 18 элементов в каждом слое. Число элементов составляет 720. Сетка имеет равномерное сгущение к сечению с приложенной нагрузкой (рис. 2). Распределённая нагрузка заменяется системой сосредоточенных сил. Упругие константы материала пластинки – модуль упругости $E=2 \cdot 10^6$ кг/см², коэффициент Пуассона $\mu=0,3$.

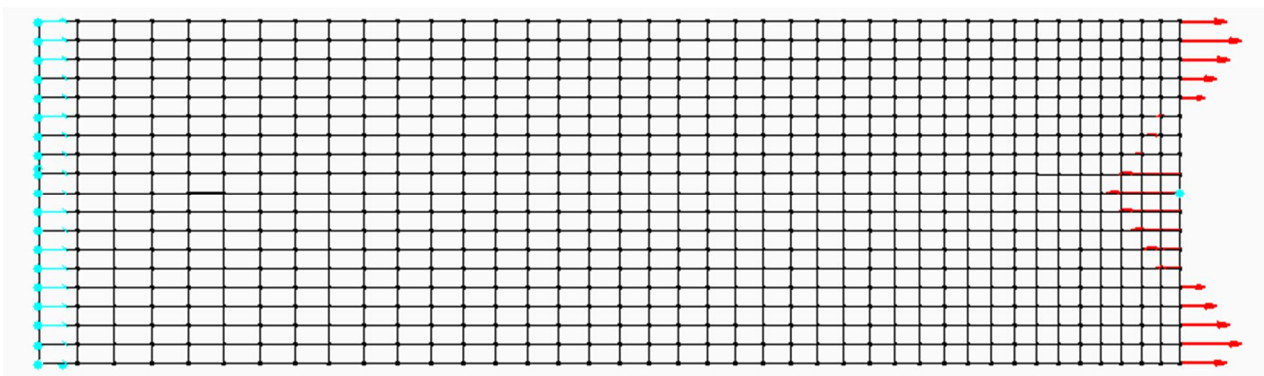


Рисунок 2 – Конечнэлементная модель пластинки

На первом этапе расчёта решалась прямая задача нахождения напряжённо-деформированного состояния от заданной распределённой самоуравновешенной нагрузки (рис. 3). Напряжённо-деформированное состояние исследовалось в области местного воздействия заданной нагрузки: в группе опорных точек $T_1 \dots T_N$.

На втором этапе модель загружалась последовательно набором нагрузок, распределённых по высоте торцевого сечения по законам распределения базисных функций. В качестве базисных использовались функции Котельникова. Область определения базисных функций задана несколько шире габарита поперечного сечения (рис. 3).

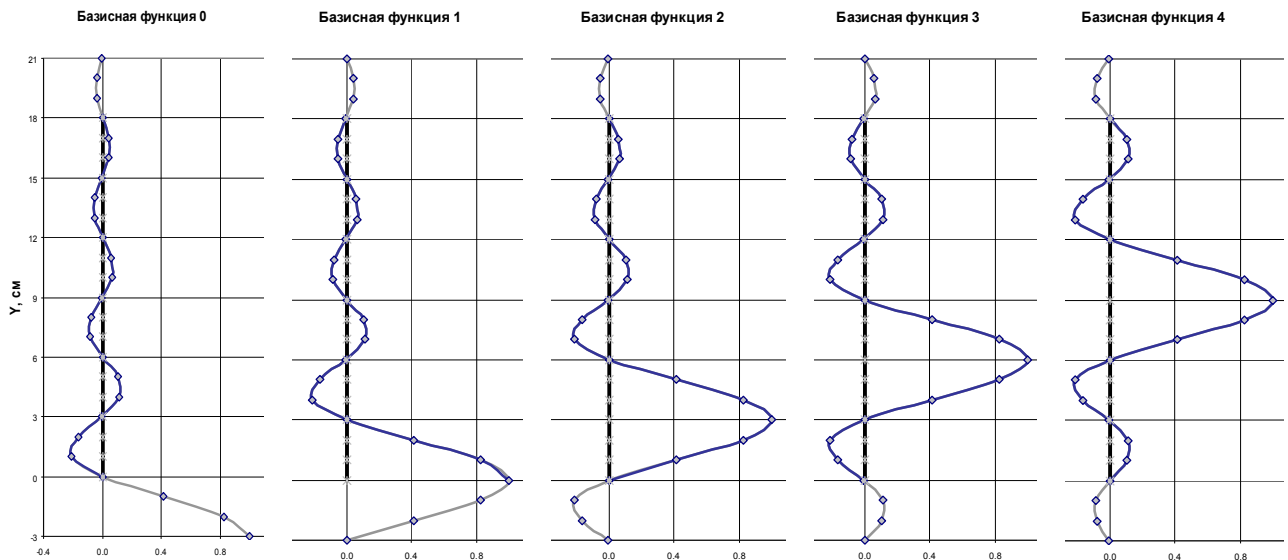


Рисунок 3 – Набор нагрузок в виде базисных функций Котельникова, распределенных по высоте модели пластинки

Распределение нагрузки по высоте модели (вдоль оси Y) находится как линейная комбинация базисных функций:

$$q(y) = \sum_1^N X_i \cdot f_i(y), \tag{2}$$

где X_i – коэффициенты к системе базисных функций; $f_i(y)$ – базисные функции.

Коэффициенты X_i в уравнении (2) находятся в ходе решения системы линейных алгебраических уравнений:

$$AX = B, \tag{3}$$

где A – матрица коэффициентов разрешающей системы уравнений; B – вектор свободных членов системы уравнений, составлен из напряжений в группе опорных точек T_i , аналог показаний тензорезисторов в физическом эксперименте.

Как известно, в случае прямоугольной матрицы коэффициентов системы уравнений задача поиска решения исходной системы (3) сводится к задаче поиска классического решения следующей системы линейных уравнений (метод наименьших квадратов):

$$A^T AX = A^T B. \tag{4}$$

Область вывода результатов расчёта представляла собой набор опорных точек – узлов модели в сечении, отстоящем от линии приложения распределенной нагрузки на расстоянии a , равном 2 см. Число базисных функций и, соответственно, число загрузок модели равняется девяти. Оно выбрано в соответствии с размером сетки конечных элементов и возможностью узлового представления распределённой нагрузки.

Матрица коэффициентов A разрешающей системы уравнений имеет 19 строк и 9 столбцов. Элементы матрицы A представляют собой напряжения выбранных опорных узлов при соответствующих базисных воздействиях.

Процедура сингулярного разложения матрицы A , выполненная с помощью процедуры SVD математического пакета MATLAB, дает сингулярные числа, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – Сингулярные числа матрицы коэффициентов A разрешающей системы уравнений

Номер числа	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Значение	0,87656	0,86637	0,73830	0,66922	0,58124	0,46484	0,27926	0,04602	0,01475

Число обусловленности матрицы составляет 59,44. Сравнительно невысокое значение этого числа свидетельствует о том, что матрица A не является плохо обусловленной [4].

Распределение нагрузки, восстановленное с помощью интерполяционной методики, в сравнении с заданным распределением нагрузки показано на рисунке 4.

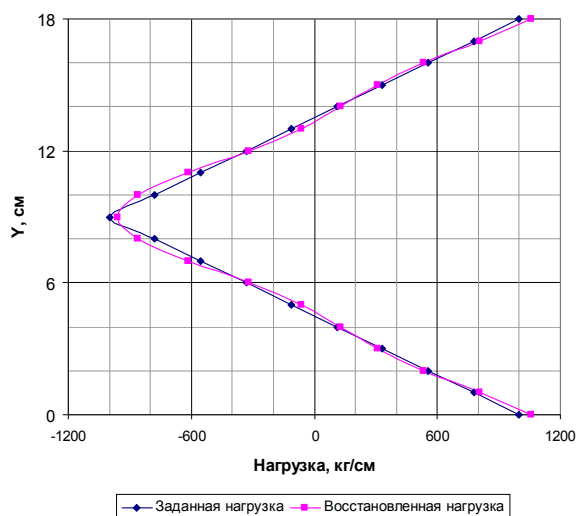


Рисунок 4 – Заданное и восстановленное с распределения нагрузки на модель пластинки

Следует отметить, что результат получен с использованием метода наименьших квадратов решением системы уравнений (4). Эффект регуляризации достигнут выбором системы базисных функций Котельникова. Другой базис в виде набора единичных сил при незначительной вариации опорных данных, численно моделирующих данные эксперимента, даёт крайне неустойчивое сильно осциллирующее решение, ничего общего не имеющее с заданной функцией нагрузки.

Система базисных функций Котельникова, выбранная для плоской задачи, обеспечивает устойчивость решения к вариации опорных данных, аналога экспериментальных данных физического эксперимента. Подтверждением этого является численный эксперимент, основанный на искусственном зашумлении опорных данных с помощью датчика случайных чисел. Выбрано два уровня вариации опорных данных в процентах от максимального значения: $\pm 5\%$ и $\pm 15\%$. Результаты исследования приведены на рисунках 5 и 6.

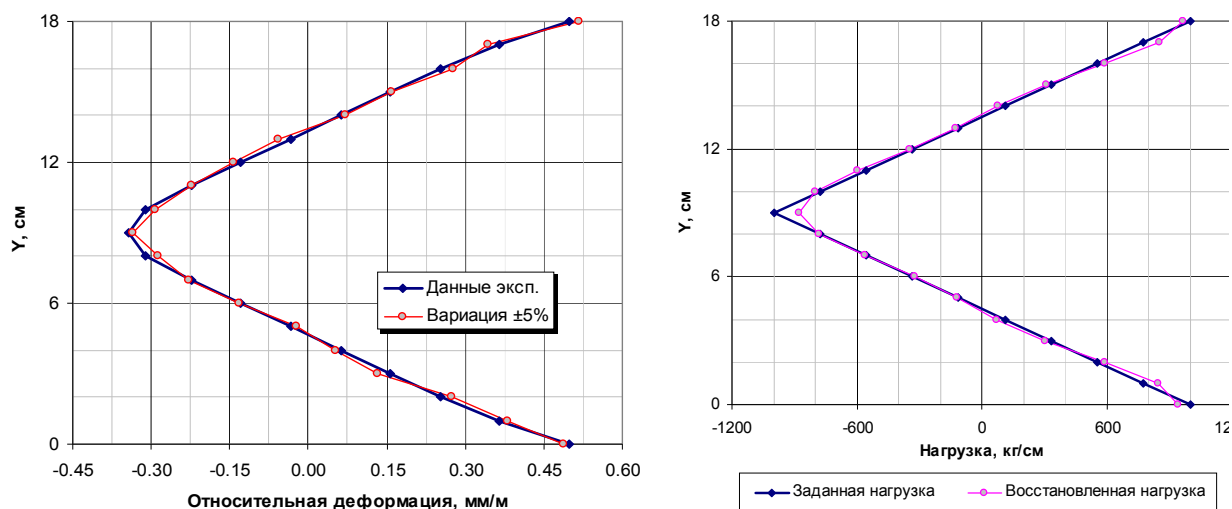


Рисунок 5 – Вариация квазиэкспериментальных данных (слева) и восстановленная нагрузка в сравнении с заданной нагрузкой (справа) при уровне зашумления $\pm 5\%$

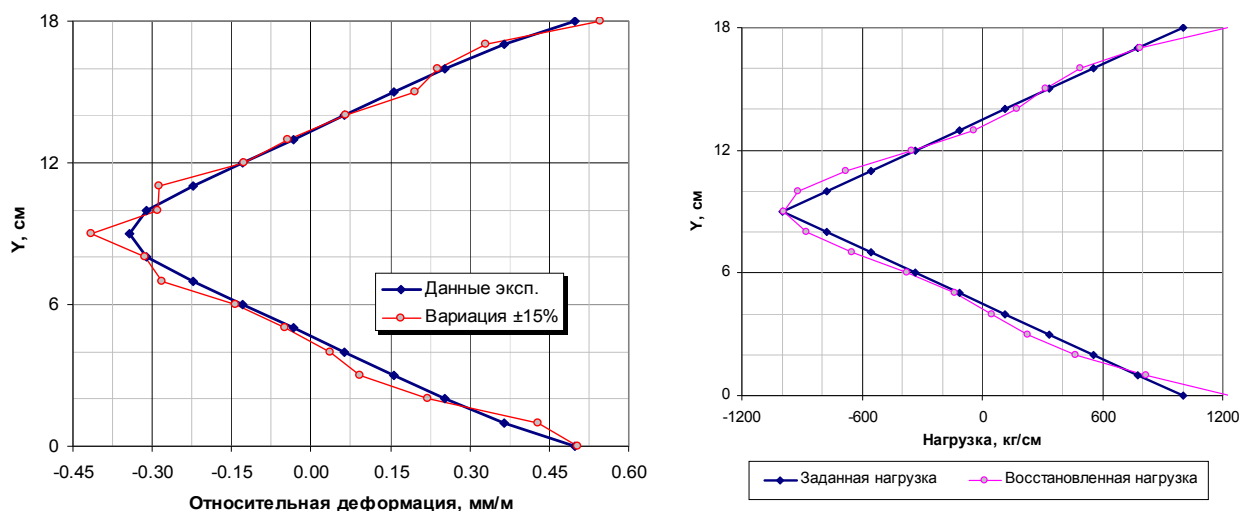


Рисунок 6 – Вариация квазиэкспериментальных данных (слева) и восстановленная нагрузка в сравнении с заданной нагрузкой (справа) при уровне зашумления ±15%

Отклонение восстановленной нагрузки от заданной составило:

- при вариации ±5%-4,8%;
- при вариации ±15%-10,9%.

Анализ результатов исследования позволяет сделать вывод о соответствии невязки решения вариации квазиэкспериментальных (опорных) данных и, следовательно, устойчивости полученного решения.

Применение функций Котельникова в качестве базисных было использовано в расчетно-экспериментальной интерполяционной методике определения остаточных напряжений в объеме железнодорожного рельса [6], основанной на его поперечной разрезке. В этой методике задача нахождения распределения продольных остаточных напряжений в пределах поперечного сечения рельса сформулирована как обратная некорректная задача восстановления продольной нагрузки в пределах торцевого сечения в месте разреза по результатам экспериментального определения относительных деформаций на его поверхности. Эти деформации формируют вектор B в системе линейных алгебраических уравнений (3). Восстанавливаемая нагрузка представляет собой искомую эпюру остаточных напряжений, взятую с противоположным знаком. Матрица A системы уравнений (3) является конечноэлементным аналогом ядра интегрального уравнения Фредгольма I рода (1). Задача решается с использованием метода регуляризации Тихонова [1]. Целесообразность выбора базиса с использованием функций Котельникова была обусловлена априорной информацией о распределении остаточных напряжений в пределах поперечного сечения рельса, полученной на основе анализа результатов исследований в НИИЖТ [5].

В этой задаче используется система двумерных функций Котельникова:

$$F_i(x, y) = \frac{\sin(\pi(x - k \cdot \Delta_x) / \Delta_x)}{\pi(x - k \cdot \Delta_x) / \Delta_x} \times \frac{\sin(\pi(y - l \cdot \Delta_y) / \Delta_y)}{\pi(y - l \cdot \Delta_y) / \Delta_y}, \tag{5}$$

где k, l – числовые значения, определяющие положение базисной функции на координатной плоскости; Δ_x, Δ_y – шаг по осям x и y сетки, на которой задана система базисных функций.

С помощью базисных функций (5), используемых в расчетно-экспериментальной интерполяционной методике [6], были получены конкретные практические результаты по определению остаточных напряжений в натуральных железнодорожных рельсах.

В качестве иллюстрации практического применения расчетно-экспериментальной интерполяционной методики на рисунке 7 приведены результаты исследования остаточного напряженного состояния железнодорожного рельса типа Р65 серийного производства [6].

На рисунке 7 слева показано распределение продольных относительных деформаций на поверхности рельса, полученное экспериментально путем его поперечной разрезки. Справа

приведено распределение остаточных напряжений в пределах поперечного сечения рельса, полученное путем решения обратной некорректной задачи.

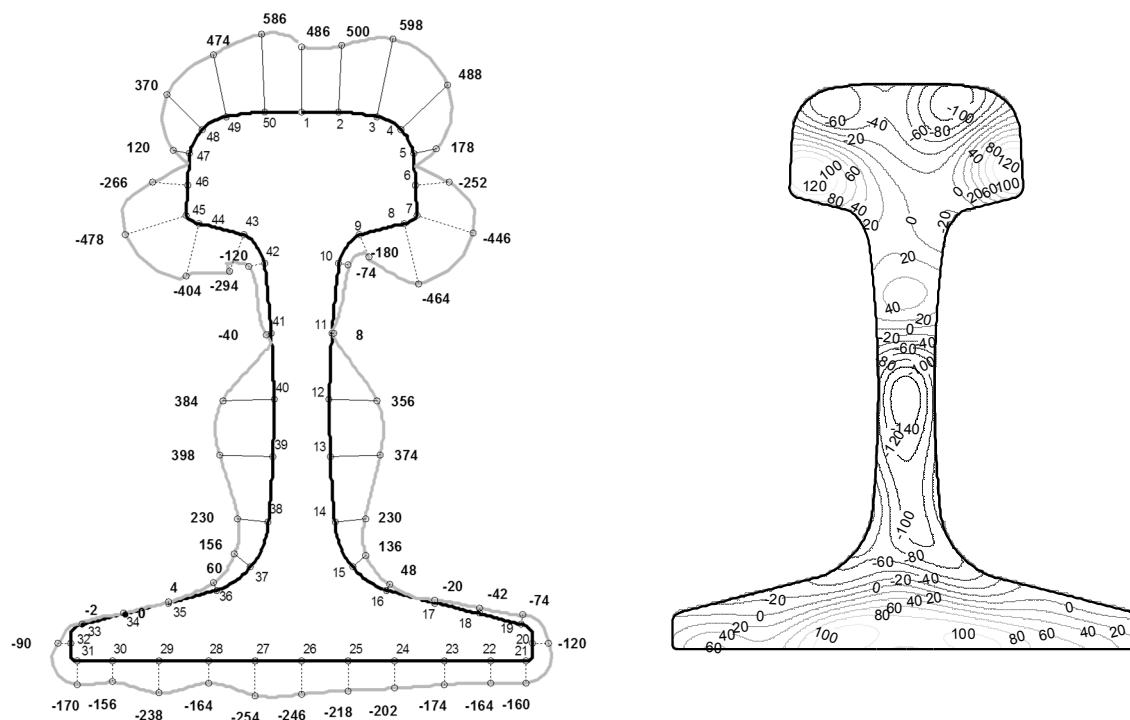


Рисунок 7 – Продольные относительные деформации (мкм/м) и поле продольных остаточных напряжений в поперечном сечении рельса, МПа

Выводы

1. На примере рассмотренной плоской задачи теории упругости, поставленной в виде обратной задачи, показана эффективность построения базиса с использованием системы функций Котельникова при ее численном решении и продемонстрировала возможность получения устойчивого решения.

2. Обосновано применение двумерных функций Котельникова в качестве базисных при определении остаточных напряжений применительно к железнодорожным рельсам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихонов, А.Н. Методы решения некорректных задач [Текст] / А.Н. Тихонов, В.Я. Арсенин. – М.: Наука, 1979. – 288 с.
2. Хургин, Я. И. Фinitные функции в физике и технике [Текст] / Я.И. Хургин, В.П. Яковлев. – М.: Наука, 1971. – 220 с.
3. Сергиенко, А.Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А.Б. Сергиенко. – СПб: Питер, 2005. – 604 с.
4. Леонов, А.С. Решение некорректно поставленных обратных задач: очерк теории, практические алгоритмы и демонстрации в МАТЛАБ [Текст] / А.С. Леонов. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2010. – 336 с.
5. Ахметзянов, М.Х. Определение остаточных напряжений в железнодорожных рельсах [Текст] / М.Х. Ахметзянов, В.А. Кушнеров // Строительная механика: Сб. науч. тр. НИИЖТ. Вып. 62. – Новосибирск: 1967. – С. 24-38.
6. Фимкин, А.И. Применение метода регуляризации Тихонова для определения остаточных напряжений [Текст] / А.И. Фимкин // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2010. – № 4. – С.48-55.

А.И. Фимкин

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва
Заведующий лабораторией кафедры «Строительная механика»
E-mail: smlab@yandex.ru

A. FIMKIN

USING OF KOTELNIKOV'S FUNCTIONS AT THE NUMERICAL SOLUTION OF INVERSE ILL-POSED PROBLEMS

This paper is devoted to consideration of the numerical solution of the ill-posed problem. With this purpose Kotelnikov's functions are used which allow to find stresses in the test object from the known stresses in its surface. The results of this solution are applied for the determination of residual stresses in railway rails.

Keywords: *inverse ill-posed problem, the Kotelnikov's functions, residual stresses, experiment-calculation interpolation method.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tihonov, A.N. Metody reshenija nekorrektnykh zadach [Tekst] / A.N. Tihonov, V.Ja. Arsenin. – M.: Nauka, 1979. – 288 s.
2. Xurgin, Ja. I. Finitnye funkcii v fizike i tehnike [Tekst] / Ja.I. Xurgin, V.P. Jakovlev. – M.: Nauka, 1971. – 220 s.
3. Sergienko, A.B. Cifrovaja obrabotka signalov [Tekst] / A.B. Sergienko. – SPb: Piter, 2005. – 604 s.
4. Leonov, A.S. Reshenie nekorrektno postavlennykh obratnykh zadach: ocherk teorii, prakticheskie algoritmy i demonstracii v MATLAB [Tekst] / A.S. Leonov. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2010. – 336 s.
5. Ahmetzjanov, M.H. Opredelenie ostatocnykh naprjazhenij v zheleznodorozhnyh rel'sah [Tekst] / M.H. Ahmetzjanov, V.A. Kushnerov // Stroitel'naja mehanika: Sb. nauch. tr. NIIZhT. Vyp. 62. – Novosibirsk: 1967. – S. 24-38.
6. Fimkin, A.I. Primenenie metoda reguljarizacii Tihonova dlja opredelenija ostatocnykh naprjazhenij [Tekst] / A.I. Fimkin // Stroitel'naja mehanika inzhenernykh konstrukcij i sooruzhenij. – 2010. – № 4. – S.48-55.

A. Fimkin

Moscow state university of railway engineering, Moscow
Head of the laboratory of department «Structural mechanics»
E-mail: smlab@yandex.ru

УДК 69.003+504.052

КОБЕЛЕВА С.А.

КРИТЕРИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЗДАНИЙ

В статье раскрыто содержание экологической эффективности зданий на основе принципов минимизация воздействия на окружающую среду и оптимального использования природных ресурсов. Экологически приемлемым является строительный проект, оказывающий наименьшее негативное влияние на Биосферу. Введение единых критериев в строительной отрасли (общее энергопотребление; выбросы загрязняющих веществ в биосферу; потребление природных ресурсов) позволяет ставить цели и задачи по энерго-, ресурсосбережению с позиций биосферосовместимых технологий, обеспечивающих прогрессивность строительной продукции.

***Ключевые слова:** экологическая эффективность, минимальное использование ресурсов, здания.*

Экологическая эффективность представляет собой систему управления окружающей природной средой через измеряемые параметры целевых и плановых показателей. В строительстве. Выбирая возможные варианты проектных решений зданий, технологий строительных процессов необходимо хотя бы в общих чертах иметь критерий, измеритель, чтобы решить, какой проект, вариант или направление развития более экологически приемлемое. Согласно принципу «минимизации воздействия» наилучшим является строительный проект с минимально возможным использованием природных ресурсов. Второй принцип экологической эффективности базируется на идее оптимального использования природных ресурсов. Под оптимальностью понимается извлечение из Биосферы такого объема ресурсов, которое необходимо для реализации рациональных потребностей человека. В связи с этим особую актуальность приобретает разработка методов оценки экологической эффективности зданий с учетом взаимодействия с окружающей природной средой и выявление резервов ресурсо- и энергосбережения.

В строительной отрасли для оценки экологической эффективности зданий целесообразно применять следующие критерии: общее потребление энергии; выбросы загрязняющих веществ в Биосферу; потребление природных ресурсов.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК), строительство, жилищно-коммунальное хозяйство – важнейшие отрасли, формирующие техносферу. Современный ТЭК представляет собой сложную межотраслевую систему добычи сырья, производства топлива и энергии, их транспортировки, распределения и использования. ТЭК – один из основных источников загрязнения окружающей природной среды. Так, в Российской Федерации основная масса техногенных выбросов в атмосферу формируется нефтедобычей, электроэнергетикой, угольной, газовой и нефтеперерабатывающей отраслями промышленности [1]. В результате производственной деятельности ТЭК в окружающую среду поступают: при выбросах в атмосферу: углекислый газ, сероводород, оксиды азота, сажа, оксид углерода, сернистый ангидрид и др.; сбросе в водные объекты и на рельеф местности: нефть, нефтепродукты, пластовые минеральные воды, синтетические поверхностно-активные вещества, ингибиторы коррозии и химические реагенты, буровые сточные воды и т.п.

Например, по данным Федеральной службы государственной статистики [2] за 2012 год выбросы в атмосферу загрязняющих веществ составили: при добыче топливно-энергетических полезных ископаемых – 5216,6 тыс.т., производстве и распределении электроэнергии, газа и воды – 4071,2 тыс.т.

В условиях растущего дефицита топливно-энергетических и природно-сырьевых ресурсов, ухудшения экологической обстановки энерго- и ресурсосбережение выступают как условие повышения эффективности деятельности ТЭК, а также конечных потребителей и сопутствующих отраслей промышленности. Строительство и жилищно-коммунальное хозяйство создают технологический спрос на продукцию ТЭК. На уровень энергопотребления в строительной отрасли определяющее влияние оказывает целенаправленная государственная энергосберегающая политика, которая предусматривает ужесточение энергетических стандартов на строительные технологии, оборудование, применение ресурсо-, энергоэффективных материалов.

К 2020 году планируется снижение энергоёмкости ВВП Российской Федерации на 40% к уровню 2007 года. Задача перевода экономики России на энергосберегающий путь развития не может быть решена без широкого использования организационно-технического потенциала энергосбережения в строительстве и жилищно-коммунальном комплексе.

Таким образом, уменьшение экологических издержек ТЭК, строительной отрасли невозможно без уменьшения потока ресурсов, извлекаемых из биосферы, комплексного и многократного использования извлеченных из добытого сырья полезных элементов в рамках замкнутых циклов их использования, а также снижения выбросов загрязняющих веществ в окружающую среду [3].

Техносфера, созданная самим человеком с целью максимального удовлетворения его потребностей, сделала жизнь человеческой цивилизации значительно комфортнее, однако она стала и основной угрозой человеку как живому виду. Конфликт между человеческой цивилизацией и природой существовал практически во все времена. Сейчас конфликт стал глобальным и угрожает самому существованию человечества. Этой проблеме посвящено большое количество исследований, публикаций и действий правительств и международных организаций. Проблемы теоретического осмысления глобальных угроз и предложения выхода из кризиса нашли отражение в работах В.И. Данилова-Данильяна, К.С. Лосева, А.Д. Урсула, Г. Дейли, Дж. Кобба, Д. Кортена и других ученых.

На современном этапе развивается междисциплинарный подход к проблемам биосфера-человек-техносфера. Появляются теории и концепции будущего развития человечества, главной целью которых выступает переход к сбалансированному развитию. Учитывая значительный удельный вес строительно-технических систем в объеме техносферы, заслуживает отдельного внимания концепция биосферной совместимости регионов, городов и поселений, развивающих человека, сформулированная Российской академией архитектуры и строительных наук [4] и получившая практическое применение и развитие в работах В.А. Ильичева, В.И. Колчунова, Н.В. Бакаевой, А.В. Берсенева, В.А. Гордона и др. В определенном смысле концепция биосферной совместимости следует традициям отечественной философской мысли, объединяющей общее и частное, гуманитарное и предметно-вещественное, социум и биосферу.

Концепция биосферной совместимости представляет собой единое комплексное многопрофильное исследование проблемы формирования социально-экономических и гуманитарных механизмов прогрессивного развития людей, технологий, организаций, товаров и биосферы в целом. В рамках этой концепции сущность прогрессивного развития городов заключается в расширении пространства и времени симбиотической жизни биосферы и человека. Это прогрессивное развитие необходимо считать критерием для процесса создания нововведений на всех его стадиях: научно-исследовательская работа, проектирование, строительство, производство и потребление инновационного продукта.

Вопрос о разделении технических инноваций на прогрессивные и регрессивные решается по их воздействию на симбиотическую жизнь биосферы и будущих поколений людей. Если технологии сокращают пространство и время симбиотической жизни биосферы и человека – они регрессивны, если расширяют – прогрессивны [5].

При проектировании и строительстве современных зданий оценка их энергоэффективности, в том числе и в соответствии с действующими нормативными документами производится, как правило, только на стадии эксплуатации. В то же время с позиций биосферосовместимых технологий (в Европейских научно-технических документах используется эквива-

лентный термин «самоподдерживающееся развитие») оценка энергоэффективности зданий должна производиться на всех стадиях жизненного цикла, начиная от добычи природно-сырьевых ресурсов и производства строительных материалов, изделий и конструкций из природного или техногенного сырья, строительства и эксплуатации здания и заканчивая энергоэффективностью его утилизации. Исследования энергоэффективности зданий в такой постановке в полном объеме у нас в стране не производились.

В рамках фундаментальных поисковых и прикладных научно-исследовательских работ Российской академии архитектуры и строительных наук на 2011-2012 годы выполнена работа по теме «Разработка методологических основ проектирования комфортных энергосберегающих зданий, обеспечивающих эффективное использование энергии на стадии производства строительных материалов, строительства и эксплуатации зданий» [6]. Под полной энергоемкостью здания понимается величина потребления топливно-энергетических ресурсов на основные и вспомогательные технологические процессы изготовления строительной продукции, выполнение строительного-монтажных работ, эксплуатацию зданий, которая определяется по формуле (1):

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{произ.}} + \mathcal{E}_{\text{смр}} + \mathcal{E}_{\text{экср.}} \quad (1)$$

где \mathcal{E} – полная энергоемкость здания, т у.т.; $\mathcal{E}_{\text{произ.}}$ – энергоемкость при производстве строительных материалов, изделий, конструкций, т у.т.; $\mathcal{E}_{\text{смр}}$ – энергоемкость при возведении здания т у.т.; $\mathcal{E}_{\text{экср.}}$ – энергоемкость при эксплуатации здания, т у.т.

По формуле (1) были выполнены расчеты полной энергоемкости жилых зданий (таблица 1), проекты которых включены Министерством регионального развития Российской Федерации в «Федеральный банк данных проектирования объектов капитального строительства и наиболее экономически эффективных проектов повторного применения».

Таблица 1 – Результаты расчета полной энергоемкости жилых зданий

№ п/п	Наименование показателей, единица измерения	Проект №1	Проект №2	Проект №3
1	Краткая конструктивная характеристика проекта	Бескаркасное здание с поперечными и продольными несущими кирпичными стенами, перекрытия сборные железобетонные плиты; фундамент свайный с монолитным ростверком	Бескаркасное здание с несущими поперечными стенами, продольными диафрагмами жесткости и монолитными железобетонными перекрытиями; фундамент – железобетонный плитный; наружные стены – система навесного вентилируемого фасада	Ширококорпусный жилой дом: несущий внутренний железобетонный каркас из стеновых панельных элементов с поэтажным опиранием наружных стен из энергоэффективных материалов; фундамент свайный с монолитным ростверком
2	Общая площадь, кв.м	7391,32	6558,50	5127,21
3	Энергоемкость при производстве строительных материалов, изделий, конструкций, т у.т.	5486	4235	3146
4	Энергоемкость при возведении здания т у.т.	11083	7705	4701
5	Энергоемкость при эксплуатации здания, т у.т.	11015	8651	7149
6	Полная энергоемкость здания, т у.т.	27584	20591	14996
7	Удельная энергоемкость, т у.т./кв.м	3,73	3,14	2,92

Все проекты, участвовавшие в расчете, предназначены для строительства в одной климатической зоне с использованием местных строительных материалов, изделий и конструкций.

Таким образом, учет энергоэффективности на всех стадиях жизненного цикла строительной продукции и, в частности в конструктивных системах зданий и сооружений, может в корне изменить представления об эффективности тех или иных конструкций, материалов и технологий, применяемых в строительстве. Проведенный анализ конструктивных систем показал, что основными факторами, влияющими на ресурсосбережение при проектировании и строительстве зданий, являются следующие: рациональный выбор объемно-планировочных и конструктивных решений; снижение ресурсоемкости зданий и, как результат, – уменьшение использования невозобновляемых природных ресурсов.

При оценке вклада строительных технологий в экологические проблемы следует руководствоваться следующими критериями: общее потребление энергии; выбросы загрязняющих веществ в биосферу; потребление природных ресурсов. Для унификации количества потребляемой энергии вне зависимости от видов энергоносителя, применяются различные обобщающие коэффициенты, например, единица условного топлива, угольный эквивалент, нефтяной эквивалент и др. (табл. 2).

Таблица 2 – Коэффициенты пересчета в условное топливо по угольному эквиваленту [7]

№ п/п	Вид топлива	Единицы измерения	Коэффициент пересчета в условное топливо по угольному эквиваленту
1	Уголь каменный	т	0,768
2	Нефть, включая газовый конденсат	т	1,430
3	Газ горючий природный (естественный)	тыс. куб. м	1,154
4	Мазут топочный	т	1,370
5	Электроэнергия	кВт·ч	0,3445
6	Тепловая энергия	Гкал	0,1486

Одним из универсальных показателей является количество полученной электроэнергии – кВт·ч. Из расчета, приведенного в таблице 1, следует, что за счет применения строительных проектов с меньшей энергоёмкостью можно сэкономить около 2500 кВт·ч электроэнергии на один квадратный метр общей площади здания в течение всего жизненного цикла.

Строительные технологии сопровождаются загрязнением природной среды, объем которого в наибольшей степени определяется количеством энергии (соответственно расходом топливно-энергетических ресурсов на её выработку), затраченной при создании строительной продукции. Выход отходов при сжигании различного топлива по данным [8] приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Удельные выбросы загрязняющих веществ при сжигании различных видов топлива

№ п/п	Вид топлива	Загрязняющие вещества, кг/ т у.т.			
		твердые вещества	углеводороды	оксид азота	оксид серы
1	Газ горючий природный (естественный)	0,05-2	0,03-0,3	5-20	0,01-0,02
2	Мазут топочный	2-4	0,17-1,5	5-20	3-30
3	Уголь каменный	1-100	0,1-1,2	3-15	10-90

Работа [3] была посвящена оценке ресурсоемкости строительной продукции с помощью MIPS-анализа. Параметр MIPS показывает, какое количество природных ресурсов, начиная от их извлечения из биосферы, используется для получения данного полезного продукта

или услуги. Потребляемые ресурсы во время производства, использования и рециклирования отходов продукта пересчитываются в количество используемых природных ресурсов (абиотических, биотических, почвы, воды, воздуха) с помощью специальных переводных коэффициентов или *MI*-чисел – «экологических рюкзаков». Например, для производства 1 кВт·ч электрической энергии ($MI = 0,41$) расходуется 0,41 кг природных ресурсов. Рассмотренная методика позволяет оценить расход природных ресурсов на здание в целом.

Введение единых критериев (общее потребление энергии; выбросы загрязняющих веществ в биосферу; потребление природных ресурсов) в строительной отрасли позволяет ставить цели и задачи по энерго-, ресурсосбережению с позиций биосферосовместимых технологий, обеспечивающих прогрессивность строительной продукции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кутын, Н.Г. Экологические проблемы и безопасность топливно-энергетического комплекса России [Текст] / Н.Г. Кутын // Безопасность Труда в Промышленности. – 2008. – №12. – С. 4-7.
2. Бюллетень «Охрана окружающей среды в России-2012» [Электронный ресурс]: Портал Федеральной службы государственной статистики – Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/statistics/publications/catalog/doc_1140094699578. Дата обращения – 07.09.2013.
3. Кобелева, С.А. Управление ресурсами биосферы при создании строительной продукции [Текст] / С.А. Кобелева // Безопасность в техносфере. – 2012. – №4. – С. 17-20.
4. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города, развивающие человека [Текст] / В.А. Ильичев. М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
5. Ильичев, В.А. К количественной оценке баланса биосферосовместимого и развивающего человека города [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Биосфера. – 2011. – №4. – С. 12-18.
6. Кобелева, С.А. Сравнение архитектурно-конструктивных решений жилых зданий по критерию полной энергоёмкости [Текст] / С.А. Кобелева // Жилищное строительство – 2012. – №7. – С. 48-50.
7. Артюхов, В.В. Рейтинги устойчивого развития регионов России [Текст] / В.В. Артюхов, С.И. Забелин, Е.В. Лебедева, А.С. Мартынов. – М.: «Интерфакс», 2011. – 96 с.
8. Хансаяров, Р.И. Влияние топливно-энергетического комплекса на окружающую среду [Текст] / Р.И. Хансаяров // Экономические науки – 2012. – №1 (86). – С. 130-134.

С.А. Кобелева

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»
E-mail: ksa92@ya.ru

S. KOBELEVA

THE CRITERIA FOR THE ASSESSMENT OF ECOLOGICAL EFFICIENCY OF BUILDINGS

In article the maintenance of ecological efficiency of buildings on the basis of the principles minimization of influence on surrounding natural and optimum use of natural resources is opened Wednesday. The construction project having the smallest negative impact on surrounding environment is ecologically accepted. Introduction of uniform criteria (general power consumption; emissions of polluting substances in the biosphere; consumption of natural resources) in construction branch allows to set the purposes and tasks on power - to resource-saving from positions of the biospheric compatibility technologies providing progressiveness of construction production.

Keywords: ecological efficiency, minimum use of resources, buildings.

BIBLIOGRAPHY

1. Kut'in, N.G. Jekologicheskie problemy i bezopasnost' toplivno-jenergeticheskogo kompleksa Rossii [Tekst] / N.G. Kut'in // Bezopasnost' Truda v Promyshlennosti. – 2008. – №12. – S. 4-7.
2. B'ulleten' «Ohrana okruzhajushhej sredy v Rossii-2012» [Jelektronnyj resurs]: Portal Federal'noj sluzhby gosudarstvennoj statistiki – Rezhim dostupa: http://www.gks.ru/wps/statistics/publications/catalog/doc_1140094699578. Data obrashhenija – 07.09.2013.
3. Kobeleva, S.A. Upravlenie resursami biosfery pri sozdanii stroitel'noj produkcii [Tekst] / S.A. Kobeleva // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2012. – №4. – S. 17-20.
4. Il'ichev, V.A. Biosfernaja sovmestimost': Tehnologii vnedrenija innovacij. Goroda, razvivajushhie cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev. M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. – 240 s.
5. Il'ichev, V.A. K kolichestvennoj ocenke balansa biosferosovmestimogo i razvivajushhego cheloveka goroda [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon // Biosfera. – 2011. – №4. – S. 12-18.
6. Kobeleva, S.A. Sravnenie arhitekturno-konstruktivnyh reshenij zhilyh zdaniy po kriteriju polnoj jenergojokosti [Tekst] / S.A. Kobeleva // Zhilishhnoe stroitel'stvoju – 2012. – №7. – S. 48-50.
7. Artjuhov, V.V. Rejtingi ustojchivogo razvitija regionov Rossii [Tekst] / V.V. Artjuhov, S.I. Zabelin, E.V. Lebedeva, A.S. Martynov. – M.: «Interfaks», 2011. – 96 s.
8. Hansevjarov, R.I. Vlijanie toplivno-jenergeticheskogo kompleksa na okruzhajushhuju sredu [Tekst] / R.I. Haesevjarov // Jekonomicheskie nauki – 2012. – №1 (86). – S. 130-134.

S. Kobeleva

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department «Building constructions and materials»

E-mail: ksa92@ya.ru

ПЕТРЕНКО С.Е., СЕРПОКРЫЛОВ Н.С.

ОЦЕНКА ВКЛАДА БЛОЧНО-МОДУЛЬНЫХ УСТАНОВОК ОЧИСТКИ ХОЗЯЙСТВЕННО-БЫТОВЫХ СТОЧНЫХ ВОД В КОНЦЕПЦИЮ БИОТЕХНОСФЕРНОГО ГОРОДА

Проведена теоретическая оценка БМОС как элемента биотехносферного города. Показано, что ресурсно-экологический потенциал и критерий экологической безопасности дают совместную оценку ресурсосбережения и воздействия на окружающую среду в рамках установления гуманитарного баланса биотехносферы в водоснабжении и водоотведении. Установлено, что БМОС являются биосферносовместимыми сооружениями и их рекомендуется использовать в перспективе для населенных мест как на стадии сравнения вариантов проектных материалов, так и при эксплуатации.

Ключевые слова: биотехносферный город, ресурсно-экологический потенциал, критерий экологической безопасности, биосферносовместимые блочно-модульные очистные сооружения.

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН) разрабатывает новую парадигму взаимодействия человека и градосферы на перспективу до 2100 г. под названием «Создание биосферосовместимых поселений и развитие человека архитектурно-градостроительными методами» [1, 2]. В предложенной ими развивающей стратегии глобальные проблемы людей предусматривается решать путем составления гуманитарных балансов биотехносферы регионов, стран и планеты Земля с установлением минимальных критериев состояния землепользования, водоснабжения и водоотведения, энергетики, воздушного бассейна с обозначением вектора перевода их на уровень, обеспечивающий развитие.

В рамках разрабатываемой парадигмы блочно-модульные очистные сооружения сточных вод (БМОС) в биотехносферном аспекте влияют на жизнедеятельность поселений и городов по всем критериям состояния: землепользования (отчуждение и загрязнение территорий), водоснабжения и водоотведения (степень очистки вод, сбрасываемых в водоемы), энергетики (энергопотребления в процессах обработки вод и твердой фазы), воздушного бассейна (выделения парниковых газов CO_2 и CH_4). Однако нет оценки баланса их взаимодействия, обобщенного критерия оценки влияния БМОС в частных случаях, на конкретных территориях (муниципальное образование, поселок, город), где они расположены. Такой обобщенной характеристикой на этапе биотехносферного анализа может быть критерий экологической безопасности БМОС, а на этапе обоснования и выбора типа БМОС – ресурсно-экологический потенциал (РЭП).

Целью настоящей статьи является оценка вклада БМОС в реализацию функции биотехносферного города на базе ресурсно-экологического потенциала с разработкой критерия экологической безопасности БМОС с учетом выбросов диоксида углерода в атмосферу.

Проведем теоретическую оценку БМОС как элемента биосферосовместимого города. Эффективность любого природоохранного технологического процесса, в т. ч. и установок по очистке сточных вод [3, 4] оценивается ресурсно-экологическим потенциалом (РЭП), который дает совместную оценку ресурсосбережения и воздействия на окружающую среду вариантов технологий на базе частных ресурсных и экологических коэффициентов, методология которого может быть с дополнением применена и в рамках установления гуманитарного баланса биотехносферы в водоснабжении и водоотведении [1].

В соответствии с п. 2-5 «Матрицы преобразования города в биосферносовместимый город» [5] трансформируем шкалу функции желательности Харрингтона (табл. 1) в ресурсно-экологическую [6].

Таблица 1 – Ресурсно-экологическая шкала оценок БМОС в рамках БСГ

Количественные значения	Качественная оценка степени воздействия на окружающую среду по коэффициенту		
	обобщенному, $K_{Об}^{РЭП}$	ресурсному, $Kч_1^P$	экологическому $Kч_1^Э$
> 1,01	недопустимая	неудовлетвор-я	опасная
0,81 ÷ 1,00	допустимая	достаточ-я	сильная
0,80 ÷ 0,631	средосовместимая	удовлетвор-я	средняя
0,63 ÷ 0,371	средозащитная	средняя	удовлетвор-я
0,37 ÷ 0,201	минимальная	хорошая	слабая
0,20 ÷ 0,01	отсутствие	высокая	отсутствие

Частными **ресурсными (Р)** коэффициентами РЭП для БМОС являются: $Kч_1^P$ – снижение материалоемкости БМОС за счет компактности и транспортной совместимости; $Kч_2^P$ – экспресс-контроль режима очистки вод по окислительно-восстановительному потенциалу; $Kч_3^P$ – вторичное использование воздуха для эрлифтов зоны нитрификации; $Kч_4^P$ – снижение количества обслуживающего персонала; $Kч_5^P$ – снижение потребности в электроэнергии на аэрацию; $Kч_6^P$ – продолжительность жизненного цикла; $Kч_7^P$ – занимаемая площадь для размещения станции; $Kч_8^P$ – величина санитарно-защитной зоны.

Частными **экологическими (Э)** коэффициентами РЭП для БМОС являются: $Kч_1^Э$ – снижение нагрузки загрязнений группы азота на гидросферу; $Kч_2^Э$ – то же, фосфора; $Kч_3^Э$ – то же, органических веществ; $Kч_4^Э$ – то же, неорганических; $Kч_5^Э$ – то же, общего солесодержания; $Kч_6^Э$ – снижение нагрузки загрязнений по органическим веществам на литосферу; $Kч_7^Э$ – снижение выбросов в атмосферу углекислого газа за счет потребления его нитрификаторами при использовании отработанного воздуха в эрлифтах.

Значение каждого частного коэффициента вычисляется в виде отношения фактического показателя, полученного при очистке сточных вод БМОС, к нормативу или имеющемуся аналогу технологии.

После теоретического или экспериментального определения величин частных ресурсных $Kч_1^P$ и экологических $Kч_1^Э$ коэффициентов вычисляется обобщенный показатель $K_{Об}^{РЭП}$ процесса БМОС:

$$K_{Об}^{РЭП} = (Kч_1^P Kч_2^P \dots Kч_8^P) (Kч_1^Э Kч_2^Э \dots Kч_7^Э) \quad (1)$$

После нахождения $K_{Об}^{РЭП}$, по (табл. 1), определяется качественная оценка воздействия на окружающую среду БМОС.

Исходя из значений $K_{Об}^{РЭП}$ и обобщенной оценки (см. табл. 1), соответствующей качественной ресурсной или экологической характеристике процесса, устанавливаются количественные значения границ частного коэффициента $Kч_1^{РЭП}$ (расчетом, экспериментом, методом экспертных оценок и т.д.). Далее, используя отношения по типу (2), обосновываются пределы изменения выходных показателей процесса, разрабатываются способы и техника их достижения.

Например, для вычисления $Kч_2^Э$ – коэффициента снижения нагрузки загрязнений по фосфору на гидросферу при сравнении БМОС и стационарных ОСК с нормами на сброс в рыбохозяйственный водоем используем отношение (2):

$$Kч_2^Э = \frac{(C_{РБМ} \div ПДК_P)}{(C_{РОСКОК} \div ПДК_P)} \quad (2)$$

где $C_{РБМ}$ $C_{РОСКОК}$, мг/л, содержание фосфора в очищенных сточных водах, соответственно, БМОС и стационарными ОСК; ПДК_Р – норматив на сброс.

Выявление технологических параметров процесса БМОС, необходимых для вычисления РЭП, потребовало проведения теоретических и экспериментальных исследований.

В соответствии с теоретическими определениями составляющих коэффициентов РЭП (1, 2) и на базе полученных результатов и выводов лабораторных, полупроизводственных и производственных исследований, а также литературных источников, выполним соответствующие расчеты для нахождения их качественных и количественных оценок.

1. Величину **ресурсного коэффициента** $K_{ч1}^P$ – снижение материалоемкости БМОС за счет компактности и транспортной совместимости определим на основе сравнения с типовой станцией стационарного исполнения.

За базовый вариант сравнения примем типовую станцию производительностью 100 м³/сут (разработана ЦНИИЭП инженерного оборудования, типовой проект 902-3-83.88) и БМОС-100 (разработана ООО «Акватрат», г. Ростов н/Д). Общая сметная стоимость строительства составляет, тыс. руб.: типовой станции – 11 768,3; БМОС – 8 574,8 [7]. Примем затраты на типовую станцию за 1, тогда затраты в долях на БМОС составят $K_{ч1}^P = (8\ 574,8 / 11\ 768,3) = 0,73$. По шкале относительных качественных оценок (табл. 1) это соответствует удовлетворительному ресурсосбережению.

2. Величину **ресурсного коэффициента** $K_{ч2}^P$ – экспресс-контроль режима очистки вод по окислительно-восстановительному потенциалу (ОВП) определим, исходя из затрат времени на измерения. При классическом методе отбора проб и анализа сточных вод (ХПК, взвешенные вещества, группа азота, фосфаты) время составит около 8 часов (в расчете не приняты зарплата лаборантов химанализа, затраты на реактивы и амортизацию приборов, расход электроэнергии). При использовании мобильного редоксиметра время измерений ОВП, через который определяется режим очистки, составит не более 0,5 часа. Тогда $K_{ч2}^P = (0,5 / 8) = 0,06$, что качественно соответствует высокой степени ресурсосбережения.

3. Величину **ресурсного коэффициента** $K_{ч3}^P$ – вторичное использование воздуха для эрлифтов зоны нитрификации – определим, исходя из экспериментальных данных [8], что повторное использование отработанного в аэротенке газа сокращает расход воздуха от воздуходувок на 20%. Тогда $K_{ч3}^P = (0,8 / 1) = 0,8$, что соответствует удовлетворительному ресурсосбережению.

4. Величину **ресурсного коэффициента** $K_{ч4}^P$ – снижение количества обслуживающего персонала – определим в соответствии со штатным расписанием [9]. Для типовой станции – 4 штатных единицы, включая лаборантов, для БМОС, согласно регламенту по эксплуатации – 2 шт. ед. отсюда $K_{ч4}^P = (2/4) = 0,5$, что характеризует среднее ресурсосбережение.

5. Величину **ресурсного коэффициента** $K_{ч5}^P$ – снижение потребности в электроэнергии на аэрацию – находим по данным исследований [7]: за счет установки энергоэффективных мелкопузырчатых аэраторов с высоким коэффициентом массообмена в БМОС вместо среднепузырчатых аэраторов в типовой станции и вторичного использования отработанного воздуха в эрлифтах потребность в электроэнергии снижена на 40%, т.е. $K_{ч5}^P = (0,6 / 1) = 0,6$, что характеризует среднее ресурсосбережение.

6. Значение **ресурсного коэффициента** $K_{ч6}^P$ – продолжительность жизненного цикла рассчитано при величине его 10 лет. Затраты на реализацию БМОС составляют 13 493,4 тыс. руб., для стационарной станции – (18 758,9 тыс. руб.) [7]. Тогда $K_{ч6}^P = (13\ 493,4 / 18\ 758,9) = 0,72$, что качественно оценивается как удовлетворительное ресурсосбережение.

7. Значение **ресурсного коэффициента** $K_{ч7}^P$ – занимаемая площадь для размещения станции – для типовой станции размер площадки 35×40, для БМОС – 20×20, м, соответственно, площади – 0,14 и 0,04 га. Тогда $K_{ч7}^P = (0,04/0,14) = 0,29$, что характеризует хорошее ресурсосбережение.

8. Значение **ресурсного коэффициента** $K_{ч8}^P$ – величина санитарно-защитной зоны – для типовой станции размер 150 м [10], для БМОС – 100 м поскольку газовые выбросы обезвреживаются в скруббере и адсорбере [8]. Тогда $K_{ч8}^P = (100/150) = 0,67$, что качественно оценивается как удовлетворительное ресурсосбережение.

На базе частных коэффициентов $K_{чi}^P$ вычислим обобщенный ресурсный показатель $K_{об}^P$ БМОС:

$$K_{об}^P = \sqrt[8]{(K_{ч1}^P K_{ч2}^P \times \dots K_{ч8}^P)} = \sqrt[8]{0,73 \times 0,06 \times 0,8 \times 0,5 \times 0,6 \times 0,72 \times 0,29 \times 0,67} = \sqrt[8]{0,001471} = 0,44.$$

Таким образом, среднее значение обобщенного ресурсного показателя $K_{об}^P$ БМОС равно 0,44, что качественно оценивается как средняя степень воздействия на окружающую среду.

Далее проведем расчеты экологической оценки БМОС.

1. Частный экологический коэффициент $K_{ч1}^{\ominus}$ – снижение нагрузки загрязнений группы азота на гидросферу можно представить в виде отношения остаточных концентраций в очищенных БМОС водах к нормативным для сброса в водоем.

Согласно [7], содержание остаточных загрязнений в очищенных сточных водах после БМОС составляет, мг/л: по азоту аммонийному 0,39, по нитритам – 0,02, по нитратам – 36,5; после стационарной очистной станции, соответственно: 2,5, 0,08, 24,6.

Тогда, $K_{ч1}^{\ominus} = [(0,39/2,5) + (0,02/0,08) + (36,5/45)] : 3 = 0,21$. (Примечание: по нитратам 4 принята норма сброса в водоем рыбохозяйственного пользования, равная 45 мг/л).

По среднеарифметическому значению $K_{ч1}^{\ominus} = 0,41$ и с учетом качественных и количественных критериев (см. табл. 1) степень воздействия БМОС по группе азота на гидросферу процесса оценивается как удовлетворительная.

2. Частный экологический коэффициент $K_{ч2}^{\ominus}$ – снижение нагрузки загрязнений фосфора на гидросферу – можно представить в виде отношения остаточных концентраций в очищенных БМОС водах к таковым типовой стационарной станцией очистки сточных вод.

В соответствии с экспериментальными данными [8] концентрация фосфора в очищенных БМОС сточных водах составляет 0,2 мг/л, а после типовой станции – 2,5 мг/л при исходном содержании фосфора 5,6 мг/л.

Откуда: $K_{ч2}^{\ominus} = (0,2 / 2,5) = 0,08$, что по табл. 1 указывает на отсутствие воздействия на гидросферу.

(При сбросе очищенных СВ в водоем-приемник сточных вод экологический коэффициент по фосфору может быть рассчитан как отношение фактических концентраций при очистке вод к ПДК.)

3. Частный экологический коэффициент снижения нагрузки органических веществ на гидросферу $K_{ч3}^{\ominus}$ вычисляем, исходя из показателей [8] очистки сточных вод по БПК БМОС (с доочисткой) и типовой стационарной станцией (без доочистки), которые равны, соответственно, 3,5 мг/л и 16,6 мг/л. Тогда $K_{ч3}^{\ominus} = (3,5/16,6) = 0,21$, что свидетельствует о слабом воздействии очищенных БМОС сточных вод на гидросферу по органическим веществам.

4. Частный экологический коэффициент снижения нагрузки неорганических веществ на гидросферу $K_{ч4}^{\ominus}$ характеризует уменьшение сброса фосфатов и ионов жесткости вследствие их химического взаимодействия при нарушении кислотно-щелочного взаимодействия [11]. Эффективность очистки хозяйственно-бытовых сточных вод от неорганических веществ составляет БМОС 20-25% и типовой стационарной станцией 10-15%. В расчетах примем остаточные концентрации при средних величинах удаления неорганических веществ. Следовательно, величина $K_{ч4}^{\ominus} = [(100-22,5)/(100-12,5)] = 0,88$. Качественно это характеризует предельную степень воздействия очищенных вод на гидросферу.

5. Частный экологический коэффициент снижения нагрузки общего солесодержания на гидросферу $K_{ч5}^{\ominus}$ рассчитывается, на основании экспериментальных и литературных данных [11]. При очистке сточных вод БМОС достигается снижение солесодержания на 35-40%, а при типовой стационарной станцией 20-25%.

Тогда, $K_{ч5}^{\ominus} = [(100 - 37,5)/(100 - 22,5)] = 0,80$, что соответствует средней степени воздействия очищенных БМОС сточных вод на гидросферу.

6. Частный экологический коэффициент $K_{ч6}^{\ominus}$ – снижение нагрузки загрязнений по органическим веществам на литосферу БМОС в сравнении с типовой стационарной станцией обозначает размещение осадков и избыточного активного ила на полигонах отходов. За счет более глубокой минерализации органических веществ в процессе денитрификации - денитрификации в БМОС зольность смеси твердой фазы составляет 34-36% против 28-30% в типовой стационарной станции [8], где этот процесс неполный. К тому же масса вывозимого от БМОС обезвоженного осадка вследствие влажности 74% (механическое обезвоживание) меньше влажности твердой фазы типовой станции 90% (обезвоживание на иловых площадках) в 2,6 раза.

Тогда $K_{ч6}^{\ominus} = [(100 - 35)/(100 - 29)] + (1 / 2,6) / 2 = 0,65$ характеризует среднюю степень воздействия твердой фазы сточных вод БМОС на литосферу.

7. Частный экологический коэффициент $K_{ч7}^{\ominus}$ – снижение выбросов в атмосферу углекислого газа за счет потребления его нитрификаторами при использовании отработанного воздуха в эрлифтах. Согласно [11], в выходящих из аэротенка-нитрификатора отработанных газах процесса аэрации содержание диоксида углерода составляет 0,5-0,6%. При использовании отработанного воздуха в эрлифтах и потреблении CO_2 нитрификаторами для метаболизма содержание диоксида углерода в выходящем газе составляет 0,04%, т.е. практически на урвое фона (0,036%).

Тогда $K_{ч7}^{\ominus} = (0,04/0,55) = 0,07$, что указывает на отсутствие воздействия процесса очистки сточных вод БМОС на атмосферу.

Определим экологическую составляющую экологического коэффициента РЭП процесса очистки БМОС: На базе частных коэффициентов $K_{чi}^{\ominus}$ вычислим обобщенный показатель $K_{об\ominus}$ БМОС:

$$K_{об\ominus} = \sqrt[7]{(K_{ч1}^{\ominus} K_{ч2}^{\ominus} \times \dots K_{ч7}^{\ominus})} = \sqrt[7]{0,41 \times 0,08 \times 0,21 \times 0,88 \times 0,80 \times 0,65 \times 0,07} = \sqrt[7]{0,000221} = 0,30.$$

Таким образом, среднее значение обобщенного экологического показателя $K_{об\ominus}$ БМОС равно 0,36, что качественно оценивается как минимальная степень воздействия на окружающую среду.

Сведем ресурсные и экологические показатели в единую таблицу 2.

Таблица 2 – Качественные и количественные оценки биотехносферной совместимости БМОС

Компонент процесса	Коэффициент	Технологический фактор	Оценки процесса	качественные	
			степень ресурсосбережения		
			количественные		
Ресурсный	$K_{ч1}^P$	снижение материалоемкости БМОС за счет компактности и транспортной совместимости	0,73		удовлетворительная
	$K_{ч2}^P$	экспресс-контроль режима очистки вод по окислительно-восстановительному потенциалу	0,06		высокая
	$K_{ч3}^P$	вторичное использование воздуха для эрлифтов зоны нитрификации	0,8		удовлетворительная
	$K_{ч4}^P$	снижение количества обслуживающего персонала	0,50		средняя
	$K_{ч5}^P$	снижение потребности в электроэнергии на аэрацию	0,60		хорошая
	$K_{ч6}^P$	продолжительность жизненного цикла	0,72		удовлетворительная
	$K_{ч7}^P$	занимаемая площадь для размещения станции, га	0,29		хорошая
	$K_{ч8}^P$	величина санитарно-защитной зоны	0,67		удовлетворительная
Итого			0,44		средняя
Экологический	$K_{ч1}^{\ominus}$	снижение нагрузки загрязнений группы азота на гидросферу	Воздействие на ОПС 0,41		удовлетв-е
	$K_{ч2}^{\ominus}$	гидросфера, снижение нагрузки фосфора	0,08		отсутствие
	$K_{ч3}^{\ominus}$	гидросфера, снижение нагрузки органических веществ	0,21		слабое
	$K_{ч4}^{\ominus}$	гидросфера, снижение нагрузки неорганических веществ	0,88		предельное среднее
	$K_{ч5}^{\ominus}$	гидросфера, снижение общего солевого содержания	0,80		среднее
	$K_{ч6}^{\ominus}$	снижение нагрузки по органическим веществам на литосферу	0,65		среднее
	$K_{ч7}^{\ominus}$	снижение выбросов в атмосферу углекислого газа	0,07		отсутствие
	Итого			0,30	

С учетом полученных РЭП_{рес} и РЭП_{эк} определим обобщенное значение ресурсно-экологического потенциала БМОС:

$$РЭПОБОБЩ = РЭП_{рес} \times РЭП_{эк} = 0,44 \times 0,30 = 0,132 = 0,363$$

Переходя от количественного значения функции оценки (1), обобщенно качественно влияние БМОС на окружающую среду оценивается как «слабая степень воздействия».

Таким образом, можем сделать вывод, что БМОС являются биосферносовместимыми сооружениями и их рекомендуется использовать в перспективе для населенных мест как на стадии сравнения вариантов проектных материалов, так и при эксплуатации.

К тому же, если проанализировать вклады компонент (см. табл. 2) в величину обобщенного РЭП, то можно видеть, что весомую позитивную долю вносит ресурсная составляющая процесса, именно которая не учитывается в настоящее время при технико-экономическом и экологическом обосновании выбора очистных сооружений сточных вод.

Для БМОС в процессе эксплуатации требуется оценка состояния, в котором она будет находиться по истечении времени t с учетом ее ремонтпригодности и восстанавливаемости, а также вывода на рабочий режим. Данная оценка может быть описана коэффициентами надежности: технологической готовности, $K_{ТГ}$; технического использования, $K_{ТИ}$; сохранения эффективности очистки сточных вод, K_3 ; полезной работы, $K_{ПР}$; экологической эффективности $K_{ЭЛ}$ (табл. 2). Суммарно [12] это состояние описывается модифицированным коэффициентом готовности (5):

$$K_{МГ} = \sqrt[5]{K_{ТГ} \times K_{ТИ} \times K_3 \times K_{ПР} \times K_{ЭЛ}}, \quad (3)$$

Однако $K_{МГ}$ не учитывает влияние БМОС на окружающую среду и внедрения новых разработок. Нами предложен обобщающий критерий экологической безопасности $K_{ЭБ}$ (табл. 3) с учетом (3) [13].

Таблица 3 – Составляющие критерия экологической безопасности БМОС в рамках БСГ

Коэффициент	Расчетная формула	Характеристика
Технологической готовности	$K_{ТГ} = T_o / (T_o + T_n)$	Вероятность того, что очистная установка (ОУ) окажется работоспособной в произвольный момент времени, включая период T_n , в течение которого ведется пуск ОУ при поступлении сточных вод.
Технического использования	$K_{ТИ} = T_o / (T_o + T_n + T_p)$	Отношение математического ожидания времени обеспечения нормативной очистки сточных вод ОУ за некоторый период эксплуатации T_o к сумме математических ожиданий T_o , времени пуска T_n и времени ремонтов T_p за тот же период эксплуатации.
Сохранения эффективности очистки	$K_3 = Q_r / Q_d$	Характеризует степень влияния отказов элементов ОУ на эффективность очистки сточных вод. Определяется отношением объема нормативно очищенных сточных вод Q_r к общему объему Q_d обработанных сточных вод.
Полезной работы	$K_{ПР} = (T_{рб} - T_v) / T_p$	Отношение разности времени работы $T_{рб}$ и вывода на режим T_v ОУ ко времени очистки сточных вод T_p за один и тот же период.
Экологической эффективности	$K_{ЭЛ} = П_n / (П_n + П_d)$	Отношение платы за сброс нормативно очищенной сточной воды $П_n$ (1 тариф) к сумме $П_n$ и дополнительной платы за сверхнормативный сброс недостаточно очищенных сточных вод $П_d$ (5 тарифов).
Выбросы в атмосферу	$K_{АТ} = (C_T - C_b) / C_T$	C_T – концентрация выбросов CO_2 от типовой ОУ, C_b – то же от блочной ОУ
Размещение отходов	$K_{ОТ} = (M_{ОТТ} - M_{ОТБ}) / M_{ОТТ}$	$M_{ОТТ}$ – масса отходов от типовой ОУ, $M_{ОТБ}$ – то же от блочной ОУ
Инновации	$K_{ин}$	0.8

Тогда выражение (3) примет вид:

$$K_{ЭБ} = \sqrt[8]{K_{ТГ} \times K_{ТИ} \times K_{Э} \times K_{ПР} \times K_{ЭЛ} \times K_{АТ} \times K_{ОТ} \times K_{ИН}} \quad (4)$$

В современных условиях и в связи со вступлением России в ВТО возникает необходимость повышения конкурентоспособности отечественного оборудования, в т.ч. и БМОС, т.к. стоимость его выше импортного, при одинаковых режимах работы и мощности. Для достижения этой цели необходимо учитывать не только стандартные параметры, но и степень внедрения инновационных решений.

На основании статистической обработки технических характеристик отечественных и зарубежных установок нами предлагается определять коэффициент инноваций и дополнить им перечень комплексных показателей надежности БМОС [14]. Коэффициент инноваций позволяет учитывать соотношение средней стоимости импортного и отечественного оборудования, и значение его определяется методом вариационной статистики.

Для практических расчетов вероятность безотказной работы БМОС рекомендуется определять по (5):

$$P_{(t_p)} \approx [N_0 - n(t_p)] \div N_0, \quad (5)$$

где N_0 – число узлов (агрегатов) станции в начале эксплуатации; $n(t_p)$ – число узлов (агрегатов), отказавших в течение времени t_p .

На примере насосного оборудования, устанавливаемого в БМОС, рассчитан коэффициент инноваций, который равен 0,8. Данную величину принимаем на первом этапе как постоянную, по мере накопления статистических данных ее значение будет уточнено.

Тогда вероятность безотказной работы БМОС с учетом коэффициента экологической безопасности предлагается в (5) ввести $K_{ЭБ}$. Это позволит учитывать не только стандартные параметры надежности, но и степень внедрения инновационных решений и защиты окружающей среды.

Тогда (4) примет вид:

$$P_{(t_p)} \approx \frac{[N_0 - n(t_p)]}{N_0} \times K_{ЭБ}, \quad (6)$$

Выполненные по (6) расчеты показывают, что БМОС имеют вероятность безотказной работы (0,93-0,96), а типовые – (0,52-0,55).

Резюмируя, можно заключить, что проведенный биосферносовместимый и эколого-технологический анализ показывает рациональность применения очистки сточных вод БМОС, к преимуществам которых также следует отнести короткие сроки реализации (2-6 мес.), соответствие современным требованиям к качеству очищенной воды и отсутствие строительной площадки на территории размещения возводимого объекта, снижение выбросов в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ильичев, В.А. Методика прогнозирования показателей биосферосовместимости урбанизированных территорий [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, В.А. Гордон // Градостроительство. – 2010. – №1. – С. 37-43.
2. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенева, А.Л. Поздняков. – Academia, 2009. – №1. – С. 50-57.
3. Серпокрылов, Н.С. Ресурсно – экологический потенциал доочистки биологически очищенных сточных вод фильтрованием через антрацитовую загрузку [Текст] / Н.С. Серпокрылов, Е.В. Вильсон, А.А. Марочкин // Материалы междунар. научно-практич. конф. «Экология и безопасность жизнедеятельности». – Пенза: ПГАСА. – 2002. – С. 34-38.
4. Серпокрылов, Н.С. Ресурсно-экологический потенциал узла обеззараживания в мобильно-картриджной системе водоснабжения [Текст] / Н.С. Серпокрылов, В.Е. Оганесов, В.А. Онкаев // Технология очистки воды «Техновод – 2004»: Мат-лы междунар. научн.-практ. конф. – Новочеркасск: ООО НПО «ТЕМП», 2004. – С. 53-57.
5. Ильичев, В.А. Биосферная совместимость: Технологии внедрения инноваций. Города развивающего человека [Текст] / В.А. Ильичев. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2011. – 240 с.
6. Химмельблау, Д. Анализ процессов статистическими методами [Текст] / Д. Химмельблау. – М: Мир, 1973. – 957 с.

7. Серпокрялов, Н.С. Интенсификация автотрофной нитрификации при очистке сточных вод [Текст] / Н.С. Серпокрялов, И.И. Кулик // Вестник ВолгГАСУ. Сер.: Стр-во и архит. 2009. – Вып. 16(35). – С. 166-171.
8. Борисова, В.Ю. Исследование биологической очистки сточных вод с использованием биопрепаратов [Текст] / В.Ю. Борисова, Н.С. Серпокрялов // Вода: химия и экология. – 2013. – №4. – С. 30-35.
9. Правила технической эксплуатации систем и сооружений коммунального водоснабжения и канализации МДК 3-02.2001 (утв. приказом Госстроя РФ от 30 декабря 1999 г. N168).
10. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов. – М., 2003.
11. Серпокрялов, Н.С. Экология очистки сточных вод физико-химическими методами [Текст] / Н.С. Серпокрялов, Е.В. Вильсон, С.В. Гетманцев, А.А. Марочкин. – М.: АСВ. 2009. – 264 с.
12. Сизов, А.А. Надежность очистки периодических сбросов сточных вод [Текст] / А.А. Сизов, Н.С. Серпокрялов // Вестн. Волгогр. гос. арх.-строит. ун-та. Сер.: Строительство и архитектура. – 2010. – №17. – С. 123-127.
13. Петренко, С.Е. Повышение эффективности и надежности очистки сточных вод на разных стадиях эксплуатации очистных сооружений [Электронный ресурс] / Н.С. Серпокрялов, Е.В. Борисова, И.И. Лесников // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона». – Ростов-на-Дону, 2013.
14. Петренко, С.Е. Параметры надежности эксплуатации насосных станций и мероприятия по их повышению [Электронный ресурс] // Электронный журнал «Инженерный Вестник Дона». – Ростов-на-Дону, 2010.

С.Е. Петренко

Ростовский государственный строительный университет
Аспирант кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
E-mail: sp8061989@yandex.ru

Н.С. Серпокрялов

Ростовский государственный строительный университет
Доктор технических наук, профессор кафедры «Водоснабжение и водоотведение»
E-mail: serpokrilov@nm.ru

S. PETRENKO, N. SERPOKRILOV

**ASSESSING THE CONTRIBUTION OF MODULAR
SEWAGE TREATMENT INSTALLATIONS TO IN THE CONCEPT
OF BIOTEHNSPHERE OF SETTLEMENTS**

We have studied the waste water pumping systems as part of biotechnosphere. We have shown that resource and environmental potential and environmental safety criteria can give a joint assessment of resource conservation and environmental impact in the establishment of humanitarian balance of biotechnosphere in water supply and sanitation. It was found that waste water pumping systems could be fitted together with the biosphere and their usage is recommended for the long terms in the countryside settlements at the stage of comparison options of project materials, and in operation.

Keywords: city in the biotechnosphere, resource and environmental potential, environmental safety criteria, waste water pumping systems in the biotechnosphere.

BIBLIOGRAPHY

1. Il'ichev, V.A. Metodika prognozirovaniya pokazatelej biosferosovmestimosti urbanizirovannyh territorij [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, V.A. Gordon // Gradostroitel'stvo. – 2010. – №1. – S. 37-43.
2. Il'ichev, V.A. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenij s pozicii koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov. – Academia, 2009. – №1. – S. 50-57.
3. Serpokrylov, N.S. Resursno – jekologicheskij potencial doochistki biologicheskij ochishhennyh stochnyh vod fil'trovaniem cherez antracitovuju zagruzku [Tekst] / N.S. Serpokrylov, E.V. Vil'son, A.A. Marochkin // Materialy mezhdunar. nauchno-praktich. konf. «Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti». – Penza: PGASA. – 2002. – S. 34-38.
4. Serpokrylov, N.S. Resursno-jekologicheskij potencial uzla obezrazhivaniya v mobil'no-kartridzhnoj sisteme vodosnabzhenija [Tekst] / N.S. Serpokrylov, V.E. Oganegov, V.A. Onkaev // Tehnologija ochistki vody «Tehnovod – 2004»: Mat-ly mezhdunar. nauchn.-prakt. konf. – Novocherkassk: OOO NPO «TEMP», 2004. – S. 53-57.

5. Il'ichev, V.A. Biosfernaja sovmestimost': Tehnologii vnedrenija innovacij. Goroda razvivajushhego cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev. – M.: Knizhnyj dom «LIBROKOM», 2011. – 240 s.
6. Himmel'blau, D. Analiz processov statisticheskimi metodami [Tekst] / D. Himmel'blau. – M: Mir, 1973. – 957 s.
7. Serpokrylov, N.S. Intensifikacija avtotrofnoj nitrifikacii pri oчитке stochnyh vod [Tekst] / N.S. Serpokrylov, I.I. Kulik // Vestnik VolgGASU. Ser.: Str-vo i arhit. 2009. – Vyp. 16(35). – S. 166-171.
8. Borisova, V.Ju. Issledovanie biologicheskoi oчитки stochnyh vod s ispol'zovaniem biopreparatov [Tekst] / V.Ju. Borisova, N.S. Serpokrylov // Voda: himija i jekologija. – 2013. – №4. – S. 30-35.
9. Pravila tehničeskoj jekspluatcii sistem i sooruzhenij kommunal'nogo vodosnabzhenija i kanalizacii MDK 3-02.2001 (utv. prikazom Gosstroja RF ot 30 dekabnja 1999 g. N168).
10. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1200-03. Sanitarno-zashitnye zony i sanitarnaja klassifikacija predpriyatij, sooruzhenij i inyh ob#ektov. – M., 2003.
11. Serpokrylov, N.S. Jekologija oчитки stochnyh vod fiziko-himicheskimi metodami [Tekst] / N.S. Serpokrylov, E.V. Vil'son, S.V. Getmancev, A.A. Marochkin. – M.: ASV. 2009. – 264 s.
12. Sizov, A.A. Nadezhnost' oчитки periodičeskikh sbrosov stochnyh vod [Tekst] / A.A. Sizov, N.S. Serpokrylov // Vestn. Volgogr. gos. arh.-stroit. un-ta. Ser.: Stroitel'stvo i arhitektura. – 2010. – №17. – S. 123-127.
13. Petrenko, S.E. Povyshenie jeffektivnosti i nadezhnosti oчитки stochnyh vod na raznyh stadijah jekspluatcii oчитnyh sooruzhenij [Jelektronnyj resurs] / N.S. Serpokrylov, E.V. Borisova, I.I. Lesnikov // Jelektronnyj zhurnal «Inzhenernyj Vestnik Dona». – Rostov-na-Donu, 2013.
14. Petrenko, S.E. Parametry nadezhnosti jekspluatcii nasosnyh stancij i meroprijatija po ih povysheniju [Jelektronnyj resurs] // Jelektronnyj zhurnal «Inzhenernyj Vestnik Dona». – Rostov-na-Donu, 2010.

S. Petrenko

Rostov state university of civil engineering
Post graduate student of department «Water Supply and Sanitation»
E-mail: sp8061989@yandex.ru

N. Serpokrilov

Rostov state university of civil engineering
Doctor of technical sciences, professor of department «Water Supply and Sanitation»
E-mail: serpokrilov@nm.ru

УДК 691.322:621.21:620.3

ЛУКУТЦОВА Н.П., ПЫКИН А.А., ДЕГТЕРЕВ Е.В.,
ПИНЧУКОВА И.Н., ТУЖИКОВА М.Ю.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДИСПЕРГИРОВАНИЯ НА РАЗМЕР, УСТОЙЧИВОСТЬ, МОРФОЛОГИЮ И СОСТАВ ЧАСТИЦ НАНОМОДИФИКАТОРА ДЛЯ БЕТОНА НА ОСНОВЕ ШУНГИТА*

Раскрыты оптимальные параметры синтеза наномодифицирующей добавки для бетона способом ультразвукового диспергирования в водной среде тонкоизмельченных отсеков от дробления шунгитовых пород III вида. Показан характер зависимости размера, устойчивости, морфологии и состава частиц наномодификатора от продолжительности и частоты ультразвукового диспергирования, присутствия стабилизатора, концентрации дисперсной фазы, срока хранения.

Ключевые слова: шунгитовая порода, ультразвуковое диспергирование, размер частиц, полидисперсность, устойчивость, стабилизация, дзета-потенциал, морфология, элементный химический состав, наномодификатор для бетона.

В настоящее время наряду с традиционными методами механоактивации (МА) минерального сырья, применяемого для получения добавок для бетонов, большой потенциал имеет ультразвуковое диспергирование. Данный метод позволяет проводить процесс МА за короткий промежуток времени, исключить нежелательные загрязнения, получать мелкодисперсные и даже наноразмерные порошки с высокой долей необходимой фракции [1].

Известно, что ультразвук вызывает необратимые физико-химические процессы в жидких средах. Это обусловлено тем, что при излучении интенсивной ультразвуковой волны возникает явление акустической кавитации (концентрирование энергии звуковой волны низкой плотности в высокую плотность энергии), связанное с образованием и ростом парогазовых пузырьков, которые осциллируют, пульсируют и схлопываются.

Акустическая кавитация в жидкостях, сопровождающаяся выделением мощной энергии при схлопывании кавитационных пузырьков, инициирует различные физико-химические явления: сонолюминесценцию (свечение жидкостей), химические эффекты (звукохимические реакции), эрозию твердого тела (разрушение поверхности), диспергирование (измельчение твердых частиц в жидкости) и эмульгирование (смешивание и гомогенизация несмешивающихся жидкостей), дезагломерацию агрегированных частиц [2-4].

Для объяснения эффектов, вызываемых кавитацией, существуют две основные группы теорий: тепловая и электрическая. Тепловая теория связывает эти эффекты с возникновением высокой температуры внутри кавитационного пузырька в процессе его адиабатического сжатия с непрерывно возрастающей скоростью, а электрическая теория – с разрядом внутри кавитационного пузырька, вследствие накопления на его стенках электрических зарядов [5].

Эрозия и диспергирование твердых частиц осуществляются, в основном, двумя характерными проявлениями кавитации: ударными волнами и кумулятивными струйками, образующимися при схлопывании кавитационных пузырьков. На поверхностях частиц и твердых тел имеются концентраторы напряжений в виде микротрещин, неровностей поверхности и т.п., на которых образуются зародыши кавитации. Под действием звукокапиллярного эффекта и интенсивных микропотоков жидкость проникает в поры и трещины, где при схлопывании кавитационных пузырьков возникает мощная ударная волна, способствующая

* Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект №13-03-97511-р_центр_a).

разрушению материалов. Кумулятивные струйки разрушают поверхность твердого тела за счет кинетической энергии жидкости. Мелкие частицы твердого тела, размеры которых соизмеримы с поперечным сечением кумулятивных струй, увлекаются ими и дают дополнительный вклад в процесс разрушения твердых частиц, находящихся в жидкости [2-4].

Ввод в механоактивационный процесс операции по ультразвуковому диспергированию является фактором, существенно снижающим приток других видов энергии, особенно тепловой. Следует также отметить, что ультразвуковые технологии с аппаратным обеспечением на базе многофункциональных маломощных генераторов во многом удовлетворяют требованиям, предъявляемым к реутилизационным, ресурсосберегающим, экологически безопасным процессам и обеспечивают более рациональное использование природных ресурсов [3].

Примерами практической реализации таких технологий являются сверхтонкое диспергирование неорганических и органических твердых веществ в кавитирующих средах, получение устойчивых суспензий и эмульсий, образование аэрозолей для нужд химической промышленности, нанoeлектронники и других отраслей.

Активация и дезагломерация агрегированных частиц с помощью ультразвукового диспергирования в водных и других жидких средах-носителях позволяет полностью использовать потенциал наноматериалов. Данные процессы имеют преимущества перед механическими способами диспергирования в роторных мешалках, поршневых гомогенизаторах, шаровых, струйных и коллоидных мельницах [5, 6].

Целью работы является экспериментальное установление оптимальных параметров синтеза наномодифицирующей добавки (далее наномодификатора) для бетона способом ультразвукового диспергирования (УЗД) в водной среде тонкоизмельченных отсевов от дробления шунгитовых пород III разновидности.

Для получения наномодификатора использовались отсевы (ОДШСП) крупностью от 5 до 10 мм дробления шунгитовых пород III вида Зажогинского месторождения (ООО НПК «Карбон-Шунгит»), анионное ПАВ нафталинформальдегидного типа (а-ПАВ НФТ) в виде сухого вещества и вода с рН от 6,9 до 7,1.

По данным проведенного рентгенофазового анализа, минеральный состав усредненной пробы отсевов ОДШСП характеризуется содержанием: более 59 % кварца β -SiO₂; свыше 15% минералов класса силикатов; 0,85% минералов класса карбонатов (доломита, кальцита) и 0,56% пирита. По данным рентгенофлуоресцентного анализа химический состав усредненной пробы ОДШСП представлен содержанием, % масс.: SiO₂ – 56,2; С – 29,8; Al₂O₃ – 4,62; Fe₂O₃ – 1,53; CaO – 1,96; K₂O – 1,77; SO₃ – 1,52; MgO – 0,97; TiO₂ – 0,49; Na₂O – 0,40; Cr₂O₃ – 0,29; P₂O₅ – 0,16; S – 0,16; MnO – 0,037; NiO – 0,024; Cl – 0,016 [7].

Для изучения влияния параметров УЗД на размер, устойчивость, морфологию и состав шунгитовых частиц в водной среде проводились исследования суспензий с дисперсными фазами, получаемыми при одночасовом помоле в шаровой мельнице ОДШСП как отдельно, так и совместно с а-ПАВ НФТ.

Методом фотонно-корреляционной спектроскопии с помощью лазерного анализатора ZetaPlus с многоугловой системой 90Plus/Bi-MAS установлено, что ультразвуковое диспергирование порошка ОДШСП (с исходной удельной поверхностью 285 м²/кг), проводимое в импульсным активаторе ванного типа в течение 15 мин при температуре воды (20 ± 2)°С, частоте ультразвука 22 кГц и концентрации твердой фазы 3%, способствует получению суспензии со средним размером частиц 423 нм (коэффициент вариации $C_x = 4,3\%$) в диапазоне от 124 до 1346 нм и полидисперсностью 28% (рис. 1, а).

Увеличение времени УЗД до 30 мин приводит к образованию суспензии, средний размер твердой фазы которой составляет 2217 нм ($C_x = 8,8\%$) в диапазоне от 201 до 5112 нм, а полидисперсность частиц достигает 31% (рис. 1, б).

При УЗД порошка ОДШСП в течение 60 мин образуется суспензия с наибольшей полидисперсностью частиц, равной 33%, и средним размером твердой фазы 2751 нм ($C_x = 9,5\%$) в диапазоне от 221 до 8768 нм (рис. 1, в).

Оценка устойчивости твердых фаз исследуемых суспензий к процессам агрегации и седиментации, проводимая с использованием анализатора ZetaPlus по величине дзета-потенциала (ζ -потенциала) на границе раздела «поверхность частиц ОДШСП – вода», показана

ла, что они склонны к слипанию и осадению, о чем свидетельствуют полученные средние значения ζ -потенциала, равные минус 2,7 мВ, минус 21 мВ и минус 23,9 мВ после УЗД в течение 15, 30 и 60 мин соответственно. Следует отметить, что для стабильных суспензионных систем величина дзета-потенциала находится в диапазоне $\pm (50-70)$ мВ.

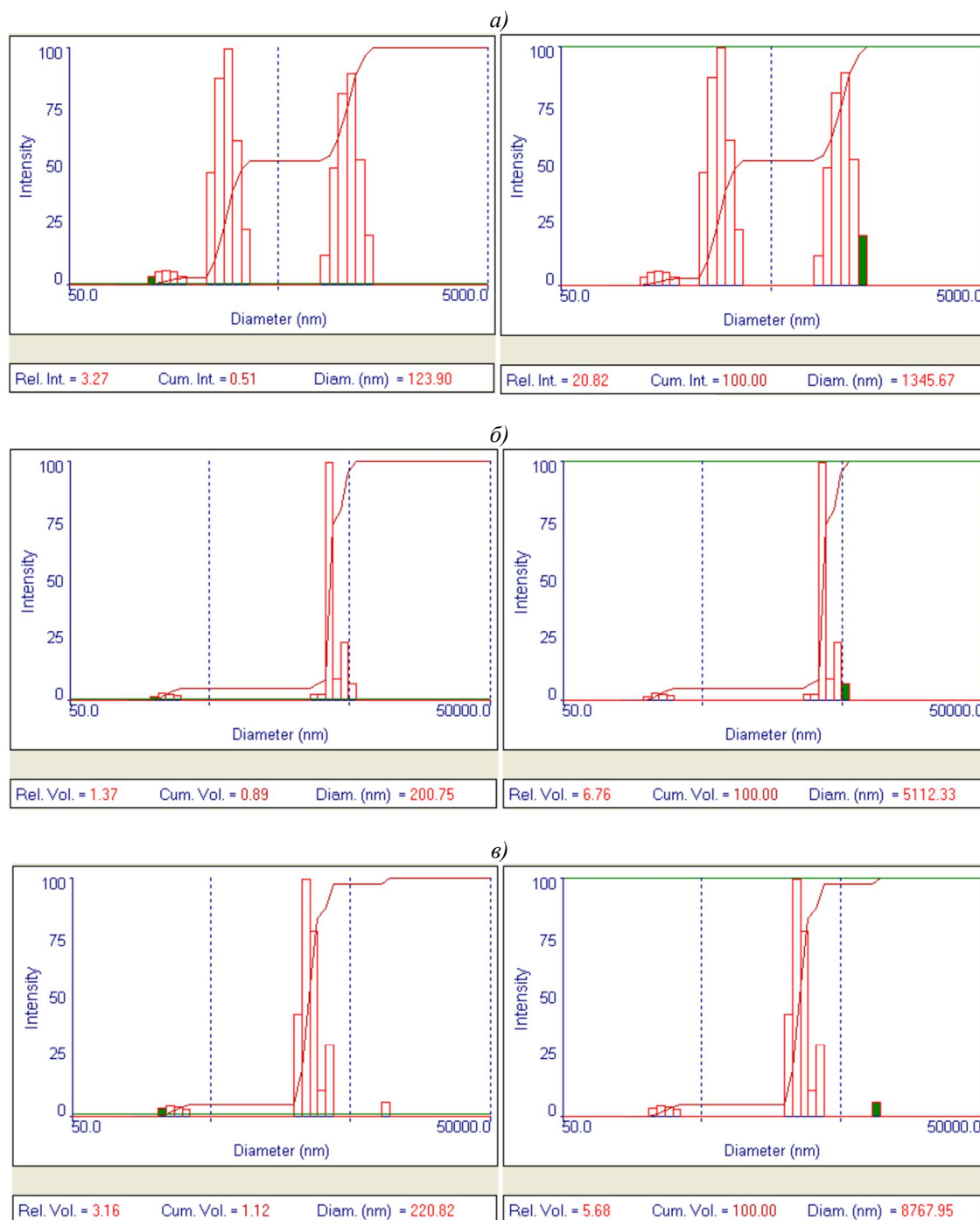


Рисунок 1 – Распределение по размерам частиц ОДШСП после ультразвукового диспергирования в водной среде при частоте 22 кГц: а – 15 мин. УЗД; б – 30 мин. УЗД; в – 60 мин. УЗД

Установлено, что ультразвуковое диспергирование порошка (ОДШСП + а-ПАВ НФТ) с удельной поверхностью $360 \text{ м}^2/\text{кг}$, проводимое в течение 15 мин. при частоте ультразвука 22 кГц и концентрации твердой фазы 3%, способствует получению суспензии со средним размером частиц через 1 сутки хранения 289 нм ($C_x = 3,4\%$) в диапазоне от 62 до 716 нм и полидисперсностью 25%. При этом через 3 и 90 суток средний размер твердой фазы суспензии увеличивается до 326 нм ($C_x = 2,8\%$) и до 443 нм ($C_x = 4,3\%$), а полидисперсность частиц в

диапазонах от 124 до 886 нм и от 52 до 939 нм достигает 27 и 32% соответственно.

Результаты фотонно-корреляционной спектроскопии показали, что ультразвуковое диспергирование в воде порошка (ОДШСП + α -ПАВ НФТ) при увеличении частоты ультразвука от 22 до 35 кГц приводит к образованию суспензии с более мелкими частицами средним размером 124 нм ($C_x = 2,8\%$) в диапазоне от 51 до 304 нм через 1 сутки, 154 нм ($C_x = 1,5\%$) в диапазоне от 90 до 282 нм через 3 суток, 304 нм ($C_x = 1,6\%$) в диапазоне от 98 до 474 нм через 90 суток хранения (рис. 2). Полученная суспензия по сравнению с образующейся после УЗД при частоте ультразвука 22 кГц характеризуется более равномерным распределением частиц по размерам, о чем свидетельствует небольшая величина полидисперсности ее твердой фазы, составляющая через 1, 3 и 90 суток хранения 3, 7 и 20% соответственно.

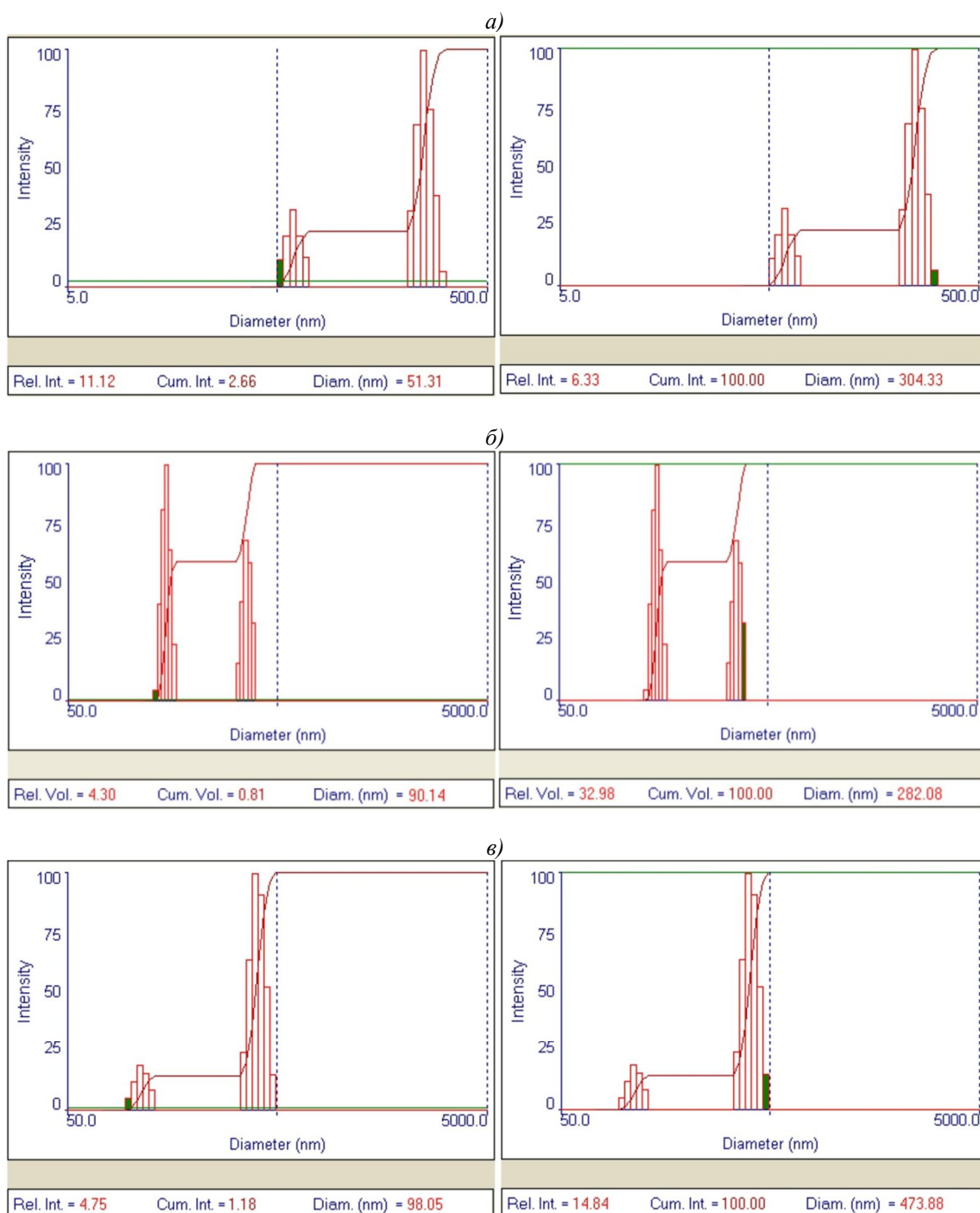


Рисунок 2 – Распределение по размерам частиц (ОДШСП + α -ПАВ НФТ) после ультразвукового диспергирования в течение 15 мин при частоте 35 кГц через: а – 1 сут.; б – 3 сут.; в – 90 сут. хранения суспензии

Установлено, что увеличение частоты ультразвука от 22 до 35 кГц при диспергировании в воде порошка (ОДШСП + а-ПАВ НФТ) способствует повышению устойчивости образующихся наночастиц к процессам агрегации и седиментации на протяжении длительного периода, поскольку величина ζ -потенциала на границе раздела жидкой и твердой фаз в системе через 1 сутки снижается от минус 44,8 до минус 56,4 мВ, а через 90 суток – от минус 36,7 до минус 48,7 мВ (рис. 3).

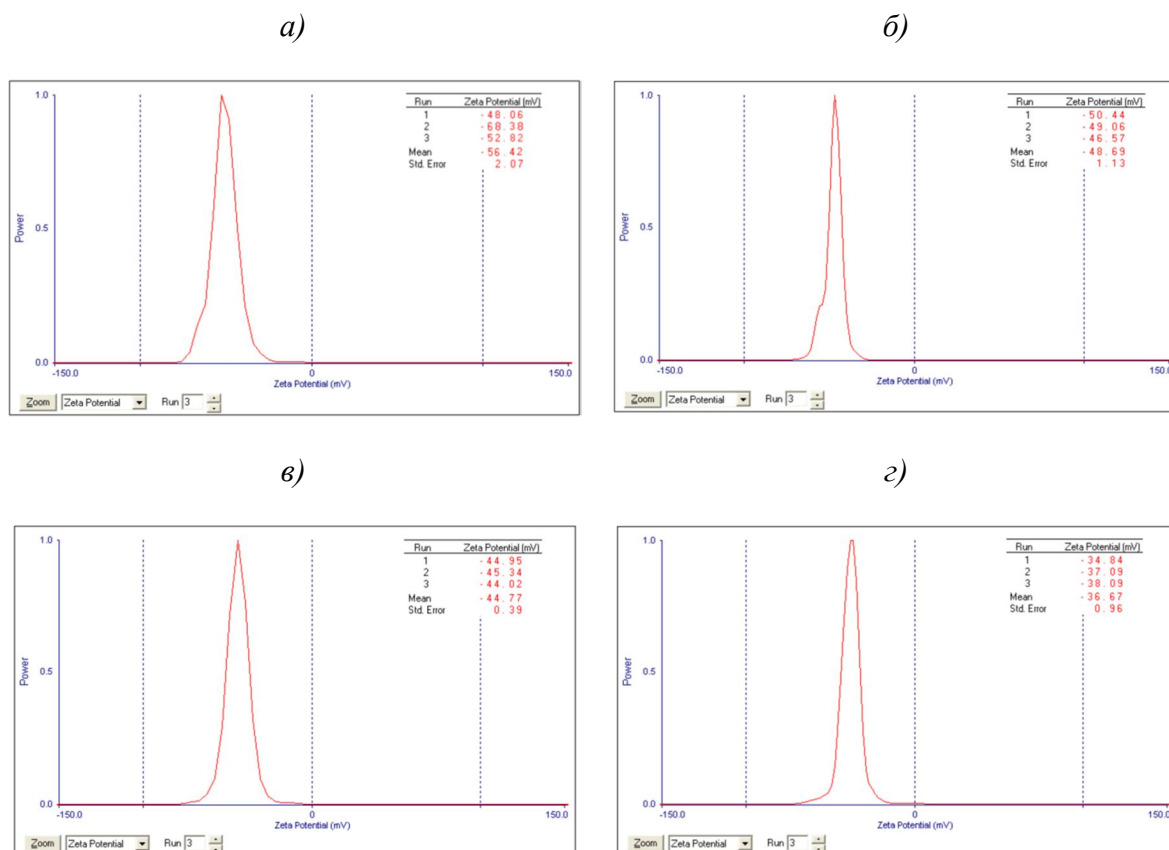


Рисунок 3 – Величина дзета-потенциала частиц (ОДШСП + а-ПАФ НФТ) после ультразвукового диспергирования в водной среде: а, в – через 1 сут. после УЗД при частоте 35 и 22 кГц, соответственно; б, г – через 90 сут. после УЗД при частоте 35 и 22 кГц, соответственно

Оценка величины дзета-потенциала в суспензии односуточного возраста после ультразвукового диспергирования при частоте 35 кГц позволила установить зависимость агрегационной и седиментационной устойчивости ее частиц от соотношения и концентрации шунгитового компонента и а-ПАВ НФТ.

Выявлено, что увеличение доли а-ПАВ НФТ по отношению к шунгитовым частицам от 0 до 0,2 приводит к повышению стабильности суспензий в возрасте 1 сут., о чем свидетельствует снижение ζ -потенциала от минус 1,3 до минус 56,4 мВ. При изменении соотношения компонентов от 1:0,2 до 1:1 твердые фазы полученных после УЗД суспензий оказываются менее устойчивыми к процессам агрегации и седиментации ввиду возрастания значения ζ -потенциала от минус 56,4 до минус 40,7 мВ (рис. 4, а).

Изменение концентрации частиц (ОДШСП + а-ПАВ НФТ) в меньшую от 3 до 1% или большую от 3 до 25% стороны способствует снижению устойчивости твердых фаз суспензии к процессам агрегации и седиментации при увеличении значений ζ -потенциала, соответственно, от минус 56,4 до минус 47,7 мВ и до минус 29,7 мВ (рис. 4, б).

Для анализа морфологии частиц суспензии были проведены электронно-микроскопические исследования ее проб в виде специально подготовленных пленок, полученных путем осаждения и высушивания. При этом использовался микроскоп Quanta 3D FEG со

встроенным детектором, позволяющим определять поэлементный химический состав сканируемых фрагментов.

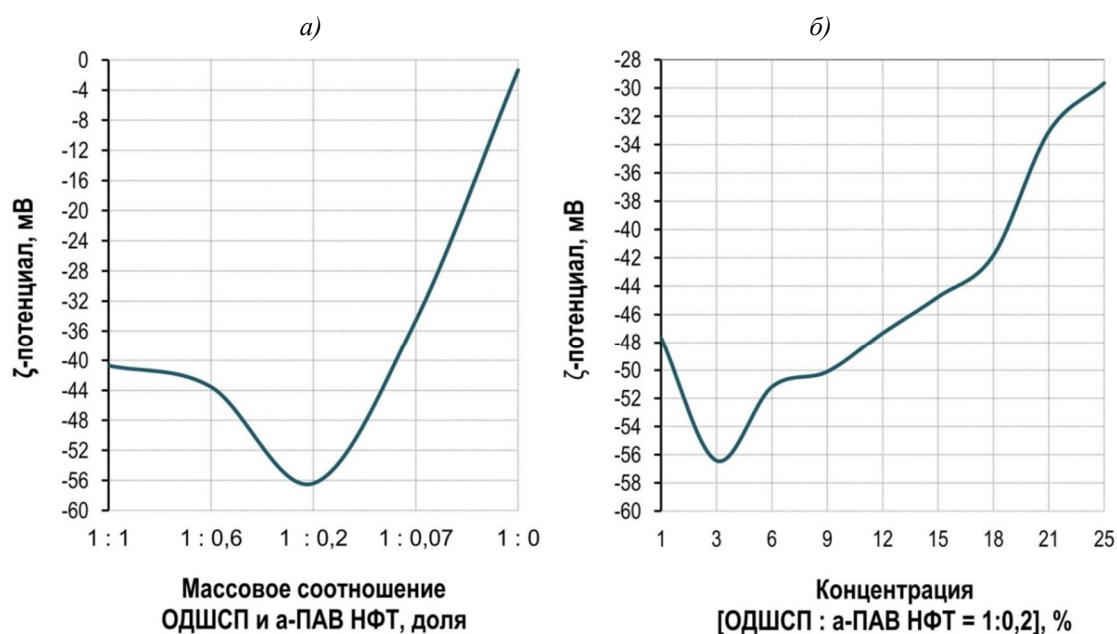


Рисунок 4 – Дзета-потенциал частиц в суспензиях после УЗД при частоте 35 кГц в зависимости: а – от соотношения ОДШСП и а-ПАВ НФТ; б – от концентрации порошка (ОДШСП + а-ПАВ НФТ)

Результаты растровой электронной микроскопии (РЭМ) показали, что пленка суспензии, полученной после ультразвукового диспергирования в течение 15 мин. порошка ОДШСП, содержит крупные агрегированные частицы, неравномерно распределенные по объему (рис. 5). Центральный фрагмент пленки суспензии, полученной после ультразвукового диспергирования в течение 15 мин. порошка совместного помола отсевов и а-ПАВ НФТ, взятых в соотношении (1 : 0,2), представлен более плотным и достаточно равномерным распределением частиц с аморфизированным поверхностным слоем толщиной от 15 до 20 нм (рис. 6, а). У края пленки зафиксировано наличие темно-серых сгустков с локализованными на их поверхности закрученными и разветвленными нитями, идентичными углеводородным цепочкам молекул а-ПАВ НФТ (рис. 6, б).

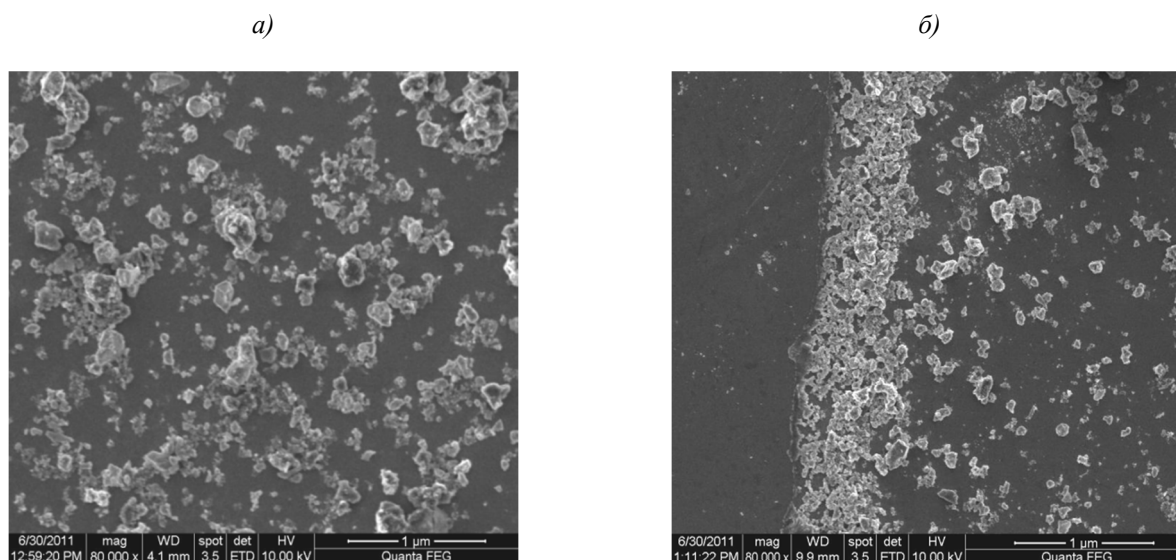
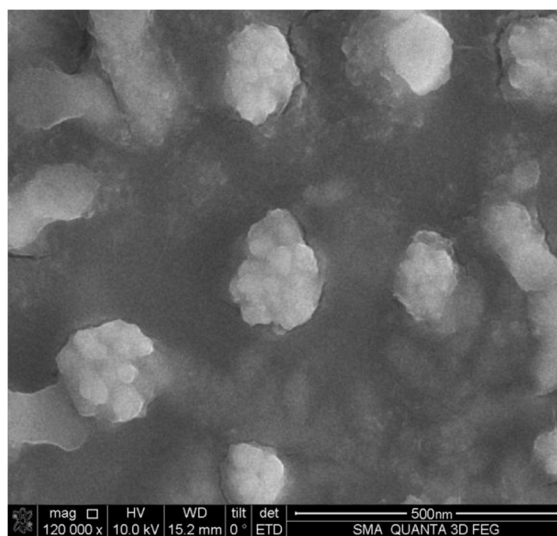
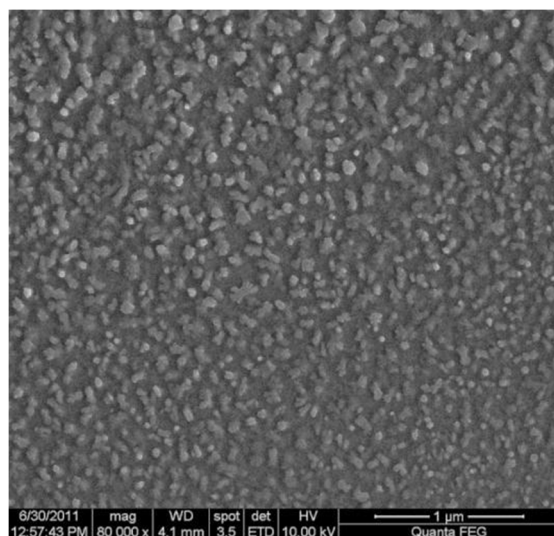


Рисунок 5 – Морфология частиц ОДШСП после ультразвукового диспергирования: а – фрагмент центра пленки, ×80000; б – фрагмент края пленки, ×80000

a)



б)

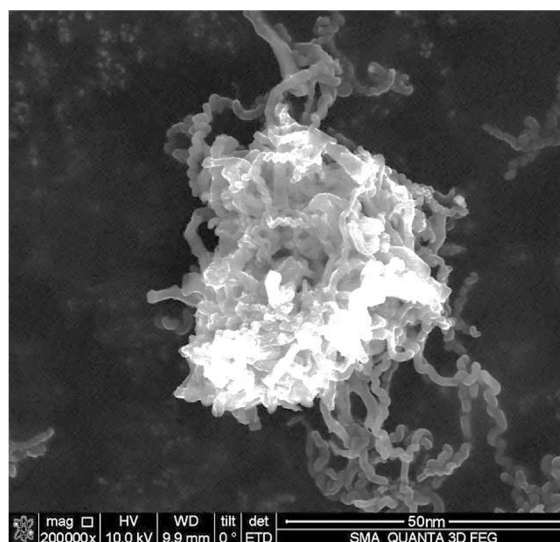
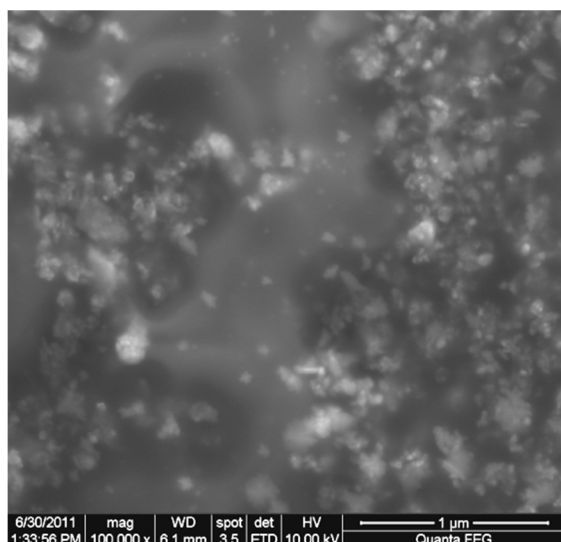


Рисунок 6 – Морфология частиц (ОДШСП + α -ПАВ НФТ) после ультразвукового диспергирования: а – центральный фрагмент пленки, $\times 80000$, $\times 120000$; б – фрагмент края пленки, $\times 100000$, $\times 200000$

Методом рентгеноспектрального анализа (РСА) установлено, что в составе частиц центрального фрагмента пленки содержится более 85% кремния Si, 10% кислорода O, около 3% углерода C, менее 1% алюминия Al, фосфора P, серы S, калия K и железа Fe. В то время как, элементный состав частиц у края пленки отличается наличием более 6% Si и O, свыше 60% C, более 16% S, менее 1% Al, P, K и Fe, а также содержанием свыше 3% Na, Ca и около 1% Mg (рис. 7).

Таким образом, анализ влияния параметров ультразвукового диспергирования на размер, устойчивость, морфологию и состав частиц наномодификатора для бетона на основе шунгита позволил сделать следующие выводы.

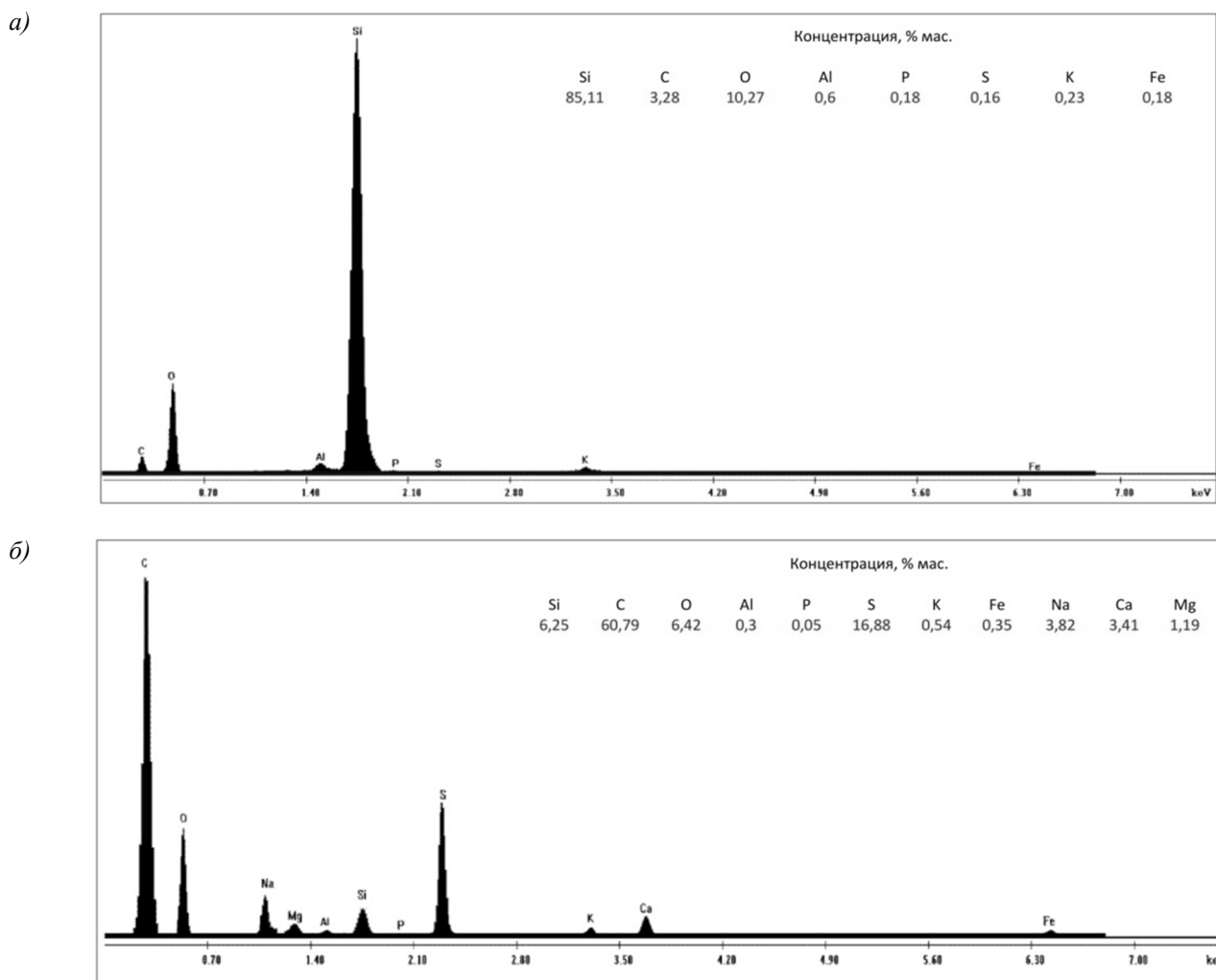


Рисунок 7 – Элементный химический состав частиц (ОДШСП + а-ПАВ НФТ) после ультразвукового диспергирования: а – фрагмент центра пленки; б – фрагмент края пленки

1. Установлены оптимальные параметры синтеза наномодификатора (концентрация твердой фазы – 3%, соотношение ОДШСП и а-ПАВ НФТ – (1 : 0,2), частота ультразвука – 35 кГц, продолжительность УЗД – 15 мин.), обеспечивающие его получение в виде устойчивой на протяжении до 90 суток суспензии, содержащей в односуточном возрасте более 20% частиц (активных компонентов) с размерами менее 100 нм и свыше 70% от 100 до 200 нм.

2. Доказано, что ультразвуковое диспергирование способствует разделению нанокремниевой и кремнеземистой фаз шунгитовых частиц. Последняя, отделенная от углерода, под действием ультразвука подвергается эрозии с образованием нанодисперсных частиц с аморфизированным поверхностным слоем толщиной от 15 до 20 нм. В свою очередь молекулы а-ПАВ НФТ, адсорбируясь своей неполярной частью на активных центрах высвобождаемых углеродных наноструктур, ориентированы к отрицательно заряженным наночастицам SiO₂ одноименным зарядом, что препятствует обратной агрегации разделенных фаз.

3. Экспериментально обоснована возможность получения наномодификатора для бетона, получаемого совместным помолом отсевов дробления шунгитовых пород III вида и анионного поверхностно-активного вещества нафталинформальдегидного типа при последующем ультразвуковом диспергировании порошка в водной среде.

Целесообразность проведения представленных исследований связана с тем, что полученная добавка является эффективным наномодификатором, оптимизирующим структуру мелкозернистого бетона и позволяющим улучшить его физико-технические характеристики, а

именно повысить прочность в ранние (1-3 суток) и поздние сроки твердения, снизить истираемость, усадку и водопоглощение, повысить деформативные характеристики, морозо- и коррозийную стойкость изделий [7-10]. На технологию производства разработанного наномодификатора в промышленных условиях получен патент, который отмечен золотой медалью 64-й Международной выставки «Идеи – Изобретения – Новые Продукты» IENA (1-4 ноября 2012 г., г. Нюрнберг, Германия) [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клубович, В.В. Ультразвуковая механоактивация порошков, используемых для синтеза электрокерамических материалов [Текст] / В.В. Клубович, В.А. Томило, Е.В. Хрущев, А.С. Липницкий // Известия национальной академии наук Беларуси. Серия физико-технических наук. – 2012. – №2. – С. 11-16.
2. Промтов, М.А. Машины и аппараты с импульсными энергетическими воздействиями на обрабатываемые вещества [Текст] / М.А. Промтов. – М.: «Изд-во Машиностроение-1», 2004. – 136 с.
3. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука высокой интенсивности в промышленности [Текст] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов. – Бийск: Изд-во Алт. гос. техн. ун-та, 2010. – 203 с.
4. Лукьянченко, М.А. Механическая активация строительных материалов на основе кавитационных эффектов [Текст] / М.А. Лукьянченко, А.Н. Высочин // Актуальные проблемы архитектуры, строительства и энергосбережения: сб. научных трудов. – Симферополь: НАПКС, 2011. – Вып. 3. – С. 305-310.
5. Хмелев, В.Н. Создание и применение специализированного ультразвукового оборудования для получения конструкционных наноматериалов [Текст] / В.Н. Хмелев, А.В. Шалунов, М.В. Хмелев // Материалы второго междунар. форума по нанотехнологиям Rusnanotech09. – Москва, 2009. – С. 421-423.
6. Толочко, Н.К. Ультразвуковое диспергирование углеродных наноматериалов [Текст] / Н.К. Толочко, П.Г. Становой, С.А. Жданок, А.В. Крауклис // Перспективные материалы. – 2008. – №2. – С. 5-9.
7. Пыкин, А.А. Высокоэффективный мелкозернистый бетон с добавкой углерод-кремнеземистого наномодификатора: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / Пыкин Алексей Алексеевич. – Белгород, 2012. – 24 с.
8. Лукутцова, Н.П. Структура и свойства цементного камня и бетона с добавкой УКН-модификатора [Текст] / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин, Е.В. Дегтярев, С.В. Широко // Цемент и его применение. – 2012. – №3. – С. 119-121.
9. Лукутцова, Н.П. Техно-экологическое обоснование получения наномодификатора для бетона [Текст] / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин, С.В. Широко, А.А. Мацаенко // Строительство и реконструкция. – 2012. – №3. – С. 42-48.
10. Лукутцова, Н.П. Коррозионная стойкость бетона с добавкой углерод-кремнеземистого наномодификатора [Текст] / Н.П. Лукутцова, А.А. Пыкин, А.Г. Устинов, А.С. Кондрик // Строительство и реконструкция. – 2012. – №5. – С. 62-67.
11. Пат. 108033 Россия, МПК С04В 22/00, В28В 1/00. Энергоэффективная технологическая линия производства нанодисперсной добавки для бетонов [Текст] / Н.П. Лукутцова, С.А. Ахременко, Е.В. Дегтярев, А.А. Пыкин; БГИТА. – заявлено 07.04.2011; опубл. 10.09.2011. – 6 с.

Н.П. Лукутцова

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 915 801 44 19
E-mail: natluk58@mail.ru

А.А. Пыкин

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 915 295 74 01
E-mail: alexem87@yandex.ru

Е.В. Дегтерев

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Инженер
Тел.: +7 961 002 93 46
E-mail: evgeniy.degtyarev.91@mail.ru

И.Н. Пинчукова

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Инженер
Тел.: +7 920 866 49 34
E-mail: irisha.pinchukova@mail.ru

М.Ю. Тужикова

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Инженер
Тел.: +7 950 699 82 00
E-mail: mar121@mail.ru

N. LUKUTTSOVA, A. PYKIN, E. DEGTEREV,
I. PINCHUKOVA, M. TUGIKOVA

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF ULTRASONIC DISPERSION
ON THE SIZE, STABILITY, MORPHOLOGY AND COMPOSITION
OF THE PARTICLES NANOMODIFIER FOR CONCRETE
BASED ON SHUNGIT**

Revealed optimal synthesis parameters nanomodifier concrete way ultrasonic dispersion in an aqueous medium fine screenings from crushing shungite III species. Shows how the size stability and morphology of the particles nanomodifier of the duration and frequency of the ultrasonic dispersing presence stabilizer concentration of the dispersed phase retention.

Keywords: shungite, ultrasonic dispersion, particle size, polydispersity, stability, stabilization, zeta potential, morphology, elemental chemical composition, nanomodifier for concrete for concrete.

BIBLIOGRAPHY

1. Klubovich, V.V. Ul'trazvukovaja mehanoaktivacija poroshkov, ispol'zuemyh dlja sinteza jelektrokera-micheskikh materialov [Tekst] / V.V. Klubovich, V.A. Tomilo, E.V. Hrushhev, A.S. Lipnickij // Izvestija nacional'noj akademii nauk Belarusi. Serija fiziko-tehnicheskikh nauk. – 2012. – №2. – S. 11-16.
2. Promtov, M.A. Mashiny i apparaty s impul'snymi jenergeticheskimi vozdejstvijami na obrabatyvaemye vesh-hestva [Tekst] / M.A. Promtov. – M.: «Izd-vo Mashinostroenie-1», 2004. – 136 s.
3. Hmelev, V.N. Primenenie ul'trazvuka vysokoj intensivnosti v promyshlennosti [Tekst] / V.N. Hmelev, A.N. Slivin, R.V. Barsukov, S.N. Cyganok, A.V. Shalunov. – Bijsk: Izd-vo Alt. gos. tehn. un-ta, 2010. – 203 s.
4. Luk'janchenko, M.A. Mehanicheskaja aktivacija stroitel'nyh materialov na osnove kavitacionnyh jeffektov [Tekst] / M.A. Luk'janchenko, A.N. Vysochin // Aktual'nye problemy arhitektury, stroitel'stva i jener-gosberezhenija: sb. nauchnyh trudov. – Simferopol': NAPKS, 2011. – Vyp. 3. – S. 305-310.
5. Hmelev, V.N. Sozdanie i primenenie specializirovannogo ul'trazvukovogo oborudovanija dlja poluchenija konstrukcionnyh nanomaterialov [Tekst] / V.N. Hmelev, A.V. Shalunov, M.V. Hmelev // Materialy vtorogo mezhdunar. foruma po nanotehnologijam Rusnanotech09. – Moskva, 2009. – S. 421-423.
6. Tolochko, N.K. Ul'trazvukovoe dispergирование uglevodnyh nanomaterialov [Tekst] / N.K. Tolochko, P.G. Stanovoj, S.A. Zhdanok, A.V. Krauklis // Perspektivnye materialy. – 2008. – №2. – S. 5-9.
7. Pykin, A.A. Vysokoeffektivnyj melkozernistyj beton s dobavkoj uglevod-kremnezemistogo nano-modifikatora: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.05 / Pykin Aleksej Alekseevich. – Belgorod, 2012. – 24 s.
8. Lukutcova, N.P. Struktura i svojstva cementnogo kamnja i betona s dobavkoj UKN-modifikatora [Tekst] / N.P. Lukutcova, A.A. Pykin, E.V. Degtjarev, S.V. Shirko // Cement i ego primenenie. – 2012. – №3. – S. 119-121.
9. Lukutcova, N.P. Tehniko-jekologicheskoe obosnovanie poluchenija nanomodifikatora dlja betona [Tekst] / N.P. Lukutcova, A.A. Pykin, S.V. Shirko, A.A. Macaenko // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2012. – №3. – S. 42-48.
10. Lukutcova, N.P. Korroziionnaja stojkost' betona s dobavkoj uglevod-kremnezemistogo nanomodifi-katora [Tekst] / N.P. Lukutcova, A.A. Pykin, A.G. Ustinov, A.S. Kondrik // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2012. – №5. – S. 62-67.
11. Pat. 108033 Rossiya, MPK S04V 22/00, V28V 1/00. Jenergojeffektivnaja tehnologicheskaja linija proiz-vodstva nanodispersnoj dobavki dlja betonov [Tekst] / N.P. Lukutcova, S.A. Ahremenko, E.V. Degtjarev, A.A. Pykin; BGITA. – zajavleno 07.04.2011; opubl. 10.09.2011. – 6 s.

N. Lukuttsova

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Doctor of technical science, professor of department «Production of construction designs»
Ph.: +7 915 801 44 19
E-mail: natluk58@mail.ru

A. Pykin

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Graduate student of department «Production of construction designs»
Ph.: +7 915 295 74 01
E-mail: leshkin22@rambler.ru

E. Degterev

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Engineer
Ph.: +7 961 002 93 46
E-mail: evgeniy.degtyarev.91@mail.ru

I. Pinchukova

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Engineer
Ph.: +7 920 866 49 34
E-mail: irisha.pinchukova@mail.ru

M. Tugikova

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Engineer
Ph.: +7 950 699 82 00
E-mail: mar121@mail.ru

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., КУЛИКОВА А.В.

УПЛОТНЯЕМОСТЬ АСФАЛЬТОВЯЖУЩЕГО С ДОБАВКАМИ ДЛЯ ТЕПЛОГО АСФАЛЬТОБЕТОНА И ДОБАВКОЙ УНИРЕМ-001

Определены физико-механические показатели свойств асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавками для теплового асфальтобетона Секабаз РТ 945 и Ворммикс Л и добавкой УНИРЕМ-001. Оценена уплотняемость асфальтовяжущего в зависимости от содержания добавок для теплового асфальтобетона в нем и температуры уплотнения от 140°C до 60°C. Показано, что введение добавок для теплового асфальтобетона в асфальтовяжущее повышает его уплотняемость при пониженных температурах. Приведены зависимости средней плотности асфальтовяжущего от количества добавок для теплового асфальтобетона в асфальтовяжущем. Оценена эффективность уплотнения асфальтовяжущего с добавками при пониженных температурах с помощью предложенного коэффициента уплотняемости.

Ключевые слова: добавки для теплового асфальтобетона, добавка УНИРЕМ-001, уплотняемость щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей и асфальтовяжущего.

Уплотняемость теплых асфальтобетонных смесей можно оценить по методу И.В. Королева, в основу которого положен процесс деформации образца с циклическим нагружением [1]. В той же работе для оценки уплотняемости использовалась зависимость средней плотности асфальтобетона от температуры уплотнения. Авторами была оценена уплотняемость щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей (ЩМАС) с различными добавками для теплового асфальтобетона и установлено, что данные добавки позволяют уплотнять ЩМАС до требуемых параметров при пониженных температурах [2].

Уплотняемость ЩМАС определяется состоянием и свойствами мастичной прослойки между зёрнами щебня. В мастичной прослойке битум с минеральным порошком образует асфальтовяжущее, которое характеризует микроструктуру щебеночно-мастичного асфальтобетона. Поверхность минерального порошка составляет большую часть общей поверхности минеральной части асфальтобетонной смеси. Таким образом, на частицы минерального порошка приходится большая часть поверхностных взаимодействий с битумом. Это обстоятельство становится особенно существенным при пониженных температурах уплотнения.

В данной статье приводятся результаты исследований по оценке уплотняемости асфальтовяжущего оптимальной структуры с добавкой УНИРЕМ-001 [3] при различном содержании добавок для теплового асфальтобетона Секабаз РТ 945 и Ворммикс Л и температуре уплотнения образцов асфальтовяжущего от 140°C до 60°C.

Для приготовления асфальтовяжущего использовался неактивированный минеральный порошок ОАО «Гуровобетон» и битум нефтяной дорожный вязкий БНД 60/90 Московского НПЗ. Асфальтовяжущее приготавливали в 10-литровом лабораторном смесителе с подогревом смесительной камеры. Битум нагревался до 150-160°C, в него вводились добавки УНИРЕМ-001, Секабаз РТ 945 и Ворммикс Л в заданном процентном соотношении. Смешивание битума с добавками производилось в лабораторном смесителе для приготовления полимер-битумных вяжущих в течение 3 минут. Минеральный порошок нагревался до температуры 160-170°C и засыпался в смеситель, затем вводился битум с добавками и проводилось смешивание в течение 2 минут для равномерного распределения вяжущего в минеральном порошке.

Предварительно было определено оптимальное количество битума в асфальтовяжущем, при котором достигается его максимальная средняя плотность и прочность. Образцы асфальтовяжущего изготавливались с использованием форм для асфальтобетона $d=50,5$ мм. Нагрузка на образец составляла 8 тонн, время воздействия нагрузки – 3 минуты. Температура асфальтовяжущего при формовании принималась равной 140°C, так как при температуре формования 160-140°C физико-механические свойства асфальтовяжущего не изменялись. Зависимость

средней плотности асфальтовяжущего от количества битума показана на рисунке 1. Как видно из графика, максимальная средняя плотность асфальтовяжущего достигается при 13% битума; максимальная прочность при 50°C также достигается при 13%, следовательно, данное количество битума является оптимальным, асфальтовяжущее имеет оптимальную структуру.

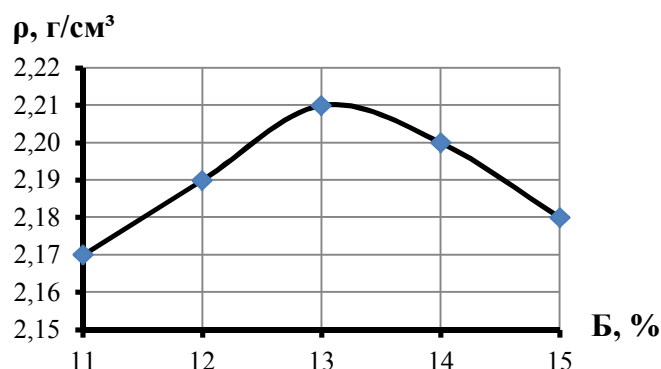


Рисунок 1 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего ρ от количества битума B

При введении добавки УНИРЕМ-001 в асфальтовяжущее в количестве 1,5% от массы минерального порошка снизилась величина средней плотности образцов. Оптимальное количество битума в асфальтовяжущем при этом не изменилось и составило 13% (рис. 2).

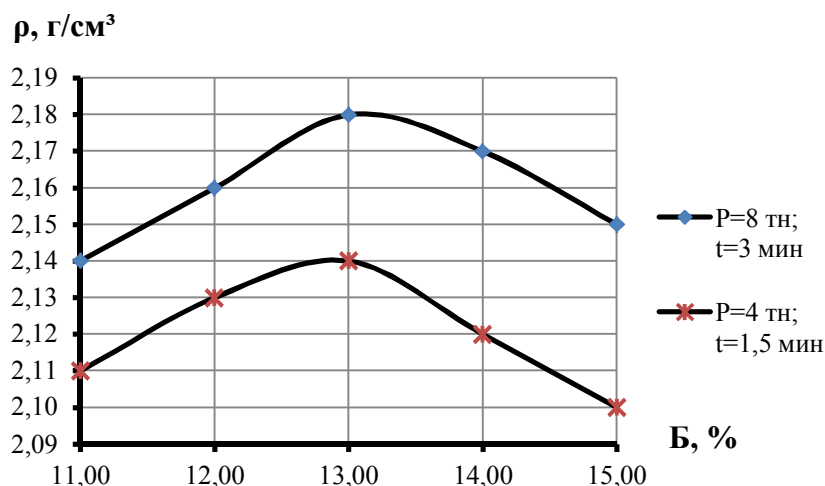


Рисунок 2 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 ρ от количества битума B

Изготовление образцов асфальтовяжущего при различных температурах на начальном этапе производилось при нагрузке на образец $P=8$ тонн в течение времени $t=3$ минуты, однако, при данных параметрах уплотнения плотность, водонасыщение и прочность образцов не изменялась в зависимости от температуры их формования. Поэтому, для выявления влияния введенных добавок на уплотняемость асфальтовяжущего нагрузка на образец была снижена до 4 тонн и времени уплотнения до 1,5 минут. Оптимальное количество битума в асфальтовяжущем при этом не изменилось и составило 13% (рис. 2).

Добавки для теплого асфальтобетона Секабаз РТ 945 и Ворммикс Л вводились в смесь в количестве 0,5; 1,0; 2,0 и 3,0% от массы битума. Содержание битума в смеси – 13%. Количество добавки УНИРЕМ-001 во всех партиях испытуемых образцов не менялось и составляло 1,5% от массы минерального порошка. Изготовление образцов асфальтовяжущего проводилось при температурах от 60 до 140°C.

Зависимость физико-механических свойств асфальтовяжущего с добавкой Секабаз РТ 945 от ее количества в смеси при различных температурах изготовления образцов представлена в таблице 1, а зависимость средней плотности асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 от количества добавки Секабаз РТ 945 при температурах от 140°C до 60°C приведена на рисунке 3.

Таблица 1 – Зависимость физико-механических свойств асфальтовяжущего с добавкой Секабаз РТ 945 от ее количества в смеси при различных температурах изготовления образцов

№ п/п	Температура уплотнения образцов, T, °C	Значение показателей свойств образцов асфальтовяжущего при различном количестве добавки для теплого асфальтобетона Секабаз РТ 945, %, от массы битума											
		Средняя плотность, г/см ³				Водонасыщение, % по объему				Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии при 20°C, МПа			
		0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0	3,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1	140	2,14	2,17	2,16	2,16	3,82	0,38	1,3	1,5	13,8	11,0	11,8	9,4
2	120	2,13	2,17	2,16	2,16	4,54	0,49	1,4	1,4	13,1	11,2	12,4	9,5
3	100	2,12	2,17	2,15	2,16	5,25	0,72	1,8	1,7	11,4	10,1	10,7	9,3
4	80	2,08	2,17	2,11	2,10	7,21	1,53	4,6	4,7	8,4	10,0	10,1	6,8
5	60	2,07	2,16	2,10	2,08	7,99	1,87	5,3	5,0	7,7	9,1	9,5	5,8

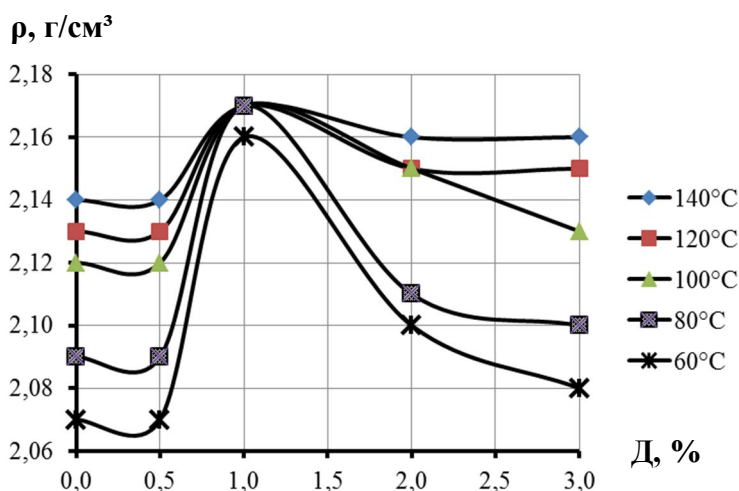


Рисунок 3 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 от количества добавки Секабаз РТ 945 Д при температуре 60-140°C

Из рисунка 3 видно, что при введении добавки Секабаз РТ 945 в количестве 0,5% от массы битума практически не изменяет среднюю плотность асфальтовяжущего при всех температурах изготовления образцов. При расходе добавки Секабаз РТ 945 1% от массы битума в смеси средняя плотность образцов достигает своего максимального значения, в том числе и при пониженных температурах уплотнения: 2,17 г/см³ при температуре формования 80-140°C; 2,16 г/см³ – при 60°C. При увеличении количества добавки в смеси до 2-3% наблюдается снижение средней плотности асфальтовяжущего, незначительное при температуре 120-140°C и существенное при 60-80°C.

Зависимость физико-механических свойств асфальтовяжущего с добавкой Ворммикс Л от ее количества в смеси при различных температурах изготовления образцов представлена в

таблице 2, а зависимость средней плотности асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 от количества добавки Ворммикс Л при температурах от 140°C до 60°C приведена на рисунке 4.

Таблица 2 – Зависимость физико-механических свойств асфальтовяжущего с добавкой Ворммикс Л от ее количества в смеси при различных температурах изготовления образцов

№ п/п	Температура уплотнения образцов, T, °C	Значение показателей свойств образцов асфальтовяжущего при различном количестве добавки для теплого асфальтобетона Ворммикс Л, %, от массы битума								
		Средняя плотность, г/см ³			Водонасыщение, % по объему			Предел прочности при сжатии в водонасыщенном состоянии при 20°C, МПа		
		0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0	0,5	1,0	2,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	140	2,15	2,15	2,18	2,5	3,3	0,60	10,8	10,6	9,7
2	120	2,16	2,15	2,19	2,0	3,6	0,26	11,6	11,6	11,5
3	100	2,15	2,13	2,18	2,3	4,3	0,52	10,8	10,6	10,4
4	80	2,13	2,11	2,17	3,9	4,7	1,20	9,8	9,5	10,1
5	60	2,10	2,10	2,16	5,1	4,7	2,04	7,0	6,8	9,1

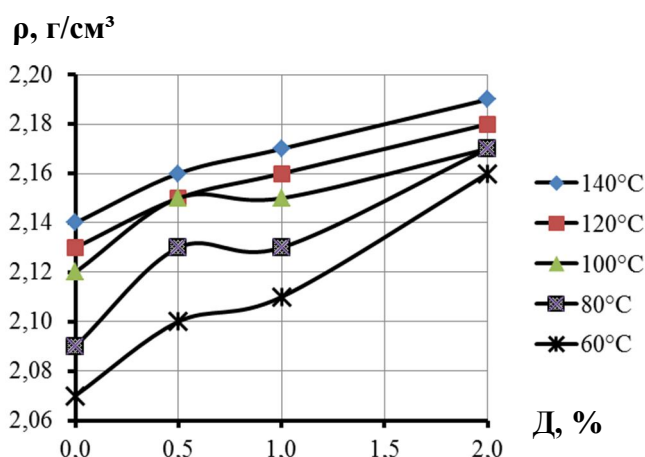


Рисунок 4 – Зависимость средней плотности асфальтовяжущего с добавкой УНИРЕМ-001 от количества добавки Ворммикс ЛД при температуре 60-140°C

Из рисунка 4 видно, что при введении добавки Ворммикс Л в смесь в количестве 0,5% средняя плотность асфальтовяжущего увеличивается при температурах уплотнения 100-140°C (2,13 г/см³ при 100 и 140°C; 2,16 г/см³ при 120°C). При температуре 60-80°C расход добавки 0,5-1,0% от массы битума практически не влияет на уплотняемость асфальтовяжущего. При содержании добавки Ворммикс Л 2% от массы битума заметно улучшается уплотняемость асфальтовяжущего при температуре 60-80°C.

Для оценки степени уплотнения асфальтовяжущего вводится коэффициент уплотняемости асфальтовяжущего $K_{уп}^{a/b}$:

$$K_{уп}^{a/b} = \frac{\rho_{t=60-140^{\circ}C}}{\rho_{t=140^{\circ}C}}$$

где $\rho_{t=60-140^{\circ}C}$ – средняя плотность асфальтовяжущего при различных температурах уплотнения, г/см³; $\rho_{t=140^{\circ}C}$ – средняя плотность асфальтовяжущего оптимальной структуры без добавок при температуре уплотнения 140°C, г/см³.

Данные по коэффициенту уплотняемости асфальтовяжущего при различном расходе добавок для теплого асфальтобетона и различных температурах приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Значения коэффициента уплотняемости асфальтовяжущего при различном количестве добавок для теплого асфальтобетона и при различных температурах уплотнения изготовления образцов

№ п/п	Температура уплотнения образцов, T, °С	Коэффициент уплотняемости асфальтовяжущего при различном количестве добавок для теплого асфальтобетона, %, от массы битума							
		Секабаз РТ 945					Ворммикс Л		
		0,0	0,5	1,0	2,0	3,0	0,5	1,0	2,0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	140	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00	1,02
2	120	1,00	1,00	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,02
3	100	0,99	0,99	1,01	1,00	1,01	1,00	1,00	1,02
4	80	0,97	0,97	1,01	0,99	0,98	1,00	0,99	1,01
5	60	0,97	0,97	1,01	0,98	0,97	0,98	0,98	1,01

Из таблицы 3 видно, что введение добавок для теплого асфальтобетона позволяет достичь коэффициента уплотняемости больше 1 при температурах уплотнения 60-140°С при различном содержании добавок в асфальтовяжущем. Таким образом, введение добавок улучшает уплотняемость не только при пониженных температурах, но и при температурах уплотнения 100-140°С.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев, И. В. Дорожный теплый асфальтобетон [Текст] / И.В. Королев, Е.Н. Агеева, В.А. Головки, Г.Ф. Фоменко – Киев: Вища школа. Головное издательство. – 1984. – 200 с.
2. Соломенцев, А.Б. Уплотняемость щебеночно-мастичных асфальтобетонных смесей с различными добавками при пониженных температурах [Текст] / А.Б. Соломенцев, А.В. Куликова // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2012. – №6 (44). – С. 102-108.
3. СТО 61595504-002-2010. Материал композиционный «УНИРЕМ-001» на основе активного резинового порошка. Технические условия [Текст].

А.Б. Соломенцев

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
Тел.: +7 (4862) 47-51-93
E-mail: absolomentsev@mail.ru

А.В. Куликова

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Студент пятого курса специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 (953)-610-58-57
E-mail: AnastKulikova@mail.ru

A. SOLOMENTSEV, A. KULIKOVA

COMPACTIBILITY ASPHALT THE KNITTING WITH ADDITIVES FOR WARM ASPHALT MIXES AND «УНИРЕМ-001» ADDITIVE

Properties asphalt the knitting optimum structure with additives for warm asphalt mixes and УНИРЕМ-001 additive were defined. Compactibility asphalt the knitting evaluated depending on the content of the warm asphalt additives therein and seal temperature of from 140° C to 60°С. It is shown that the introduction of additives for warm asphalt in asphalt the knitting increases its compressibility

at lower temperatures. Effectiveness of the seal described the proposed compaction factor. The dependences of the physical -mechanical properties of asphalt the knitting amounts of additives to a warm asphalt mixture. The efficiency of sealing asphalt the knitting with additives at lower temperatures. Dependence of indicators of properties of asphalt bounding agent from quantity of additives for warm asphalt mixes were resulted. The assessment of compactibility of asphalt bounding agent with various additives is made for warm asphalt concrete at the lowered temperatures.

Keywords: additives for warm asphalt, additive VHIPEM-001, compactibility of stone mastic asphalt mixes and asphalt the knitting.

BIBLIOGRAPHY

1. Korolev, I. V. Dorozhnyj teplyj asfal'tobeton [Tekst] / I.V. Korolev, E.N. Ageeva, V.A. Golovko, G.F. Fomenko – Kiev: Vishha shkola. Golovnoe izdatel'stvo. – 1984. – 200 s.
2. Solomencev, A.B. Uplotnjaemost' shhebenochno-mastichnyh asfal'tobetonnyh smesej s razlichnymi do-bavkami pri ponizhennyh temperaturah [Tekst] / A.B. Solomencev, A.V. Kulikova // Stroitel'stvo i rekon-strukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2012. – №6 (44). – S. 102-108.
3. STO 61595504-002-2010. Material kompozicionnyj «UNIREM-001» na osnove aktivnogo rezinovogo po-roshka. Tehnicheskie uslovija [Tekst].

A. Solomentsev

State university – educational-science-production complex, Orel
Candidate of technical sciences, senior lecturer of department «Construction of highways»
Ph.: +7 (4862) 73-43-67
E-mail: absolomentsev@mail.ru

A. Kulikova

State university – educational-science-production complex, Orel
Student of the 5-th class specialty 270205 «Highways and airfields»
Ph.: +7 (953) 610-58-57
E-mail: AnastKulikova@mail.ru

ФЕДОСОВ С.В., МАСЛЕННИКОВ В.А., ОСАДЧИЙ Ю.П., МАРКЕЛОВ А.В.

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ЦЕННЫХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОМЫШЛЕННЫХ СТОКОВ И ИХ ПОВТОРНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

В производственных условиях получены положительные результаты по разделению, концентрированию и очистке сточных вод, содержащих поливиниловый спирт, дисперсные красители, ультрафильтрацией и нанофильтрацией. Исследованы характеристики мембран, оптимальные параметры ведения процесса, потребляемая мощность баромембранных установок. Установлена возможность повторного использования в производственном цикле 10-25% красителей и 40% поливинилового спирта.

Ключевые слова: сточные воды; утилизация; дисперсные красители; поливиниловый спирт; ультрафильтрация; нанофильтрация.

Эффективность производства в значительной мере определяется уровнем затрат на производство продукции, т.е. себестоимости продукции и ее снижением. Актуальность вопросов прогнозирования себестоимости продукции предприятий и производственных объединений текстильной промышленности обостряется в условиях жесткой конкуренции при выходе на отечественный рынок зарубежных торговых марок.

Все отрасли текстильной промышленности являются материалоемкими. Затраты на основные и вспомогательные материалы в хлопчатобумажной промышленности составляют более 80%, и затраты на электроэнергию и потребление воды в процентном соотношении увеличивают свою значимость из-за высокого абсолютного расхода и роста тарифов [1]. Особое значение приобретают вопросы ресурсосбережения в отделочном производстве хлопчатобумажных тканей, где применяемые в настоящее время технологии производительно используют лишь около 70% сырья и материалов. Вовлечение в хозяйственный оборот вторичных материальных ресурсов (ВМР) позволит частично высвободить дефицитное первичное сырье, снизить себестоимость выпускаемой продукции, расширить ассортимент товаров народного потребления и продукции технического назначения за счет производства их из отходов, предотвратить загрязнения окружающей среды, сократить затраты на содержание свалок, воспитать бережное отношение к ресурсам.

Результаты проведенных исследований показали, что на предприятиях текстильной промышленности повторное использование материальных ресурсов является одной из возможностей экономии химматериалов, применяемых в процессе отделки ткани. Применение мембранной технологии для разделения водных отработанных рабочих сред позволяет одновременно решать проблемы водоснабжения, водоочистки и утилизации ценных компонентов. Наиболее динамично развивается направление баромембранного разделения водных растворов органоминеральных смесей на молекулярном уровне методами ультрафильтрацией и нанофильтрацией. Определяющей проблемой при реализации этих методов является разработка полупроницаемых мембран, обладающих химической стойкостью к действию разделяемой среды, неизменностью характеристик в процессе эксплуатации, высокой механической прочностью, низкой стоимостью и оптимальных технологических режимов процессов концентрирования, разделения, очистки реальных рабочих растворов отделочных растворов текстильных предприятий.

Изучены зависимости характеристик композитных мембран (УФМ, ПСА, Ф-1, УНФЗ) при очистке сточных вод, содержащих ценные компоненты (шлихту, красители, пигменты, поверхностно-активные вещества, акриловые дисперсии). Установлена возможность концентрировать рабочие растворы до степени, позволяющей организовать повторное их использование в технологическом процессе.

На Ивановском ХБК «Самтекс» проведены испытания по регенерации синтетической шлихты на основе поливинилового спирта (ПВС) на ультрафильтрационной установке с трубчатыми блоками БТУ-0,5/2 марок ПСА и Ф-1. Предварительные исследования показали, что более 60% шлихты, находящейся на ткани, удаляется в первой ванне. Поэтому отработанные воды первой ванны не сбрасывали, а направляли на ультрафильтрацию. После процесса разделения полученный пермеат отводился для потребления технологическим оборудованием, а концентрат возвращался в емкость для повторной подачи на ультрафильтрацию, где его концентрировали до необходимого содержания ПВС. Применение баромембранного процесса разделения сточных вод для локальной очистки дало возможность достичь такого качества воды, которое сопоставимо с глубокой многостадийной очисткой. К тому же такая очистка для отработанных горячих вод позволяет достаточно быстро вернуть очищенную воду в производственный цикл, что обеспечивает экономию значительной доли тепловой энергии. При очистке данным методом 1 куб.м отработанной горячей воды температурой 80°C рекуперируется 0,07 Гкал тепловой энергии. Селективность мембран по отношению к растворам, содержащим ПВС, достигает 90-98%. По таким показателям, как прозрачность, цветность, взвешенные вещества, наличие нефтепродуктов, полученный ультрафильтрат даже превосходит свежую воду, используемую отделочными производствами для технологической обработки ткани. Из отработанных вод, содержащих 2-3 г/л ПВС, за смену получали 1,5 куб.м регенерата шлихты с содержанием ПВС 26,7 г/л. Результаты шлихтования вискозно-штапельной пряжи с 30%-ной заменой чистого ПВС на регенерат показали, что обрывность в ткачестве соответствует аналогичным показателям при использовании шлихты из исходного ПВС и на 40% ниже, чем в случае обработки пряжи крахмальной шлихтой. Физико-механические и эксплуатационные характеристики пряжи, ошлихтованной регенератом шлихты, полученным их промывных вод, удовлетворяет требованиям существующих стандартов.

Основным источником загрязнения сточных вод текстильной промышленности являются красильно-отделочные фабрики, сточные воды которых относятся к категории трудноочищаемых. Красители токсичны и трудно разрушаются биологически. Кроме того, все процессы крашения проходят в присутствии поверхностно-активных и вспомогательных веществ, а иногда и ионов тяжелых металлов, что приводит к образованию сложных смесей. Поэтому необходимо проводить глубокую очистку сточных вод. Баромембранные методы позволяют достаточно просто и эффективно решать эти задачи. Одновременно происходит регенерация дорогостоящих поверхностно-активных веществ и красителей, которые безвозвратно теряются, например, при использовании реагентных методов[2]. Так, по данным [3], в текстильной промышленности теряется до 94 тыс. тонн красителей в год.

Возможность технологии повторного использования красителей баромембранными методами доказана в лабораторных и производственных условиях. Локальному разделению подвергали растворы после крашения пряжи кубовыми красителями периодическим способом на аппарате АКДУ-6 (фабрика «Свет» Владимирская область), с целью концентрирования их до такой концентрации при которой возможно повторное использование. Селективность мембран при оптимальном давлении 0,3-0,5 МПа остается практически постоянной и составляет 96-98%. Положительными технико-экономическими результатами от использования данной технологии в красильном производстве является уменьшение расхода воды на 70-85%, экономия кубовых, прямых, дисперсных красителей в объеме 20-25% в технологическом процессе.

Получены положительные результаты от использования баромембранных методов регенерации красителя индиго на ПО «Родники-Текстиль». Так как индиго имеет низкую молекулярную массу, методом нанофильтрации его можно регенерировать только в окисленном виде. В этом случае мембраны ПСА задерживают 100% красителя, обеспечивая высокую производительность при хорошем качестве регенерированного красителя. С использованием концентрата проведено крашение суровой пряжи №14 по технологическому режиму производства – пропитка, воздушный зрельник, промывка, сушка. Содержание красителя определяли на спектрофотометре, путем замеров коэффициентов, результаты крашения образцов пряжи по ходовому режиму и с использованием концентрата дали аналогичные результаты по со-

держанию красителя на волокне, устойчивости окраски к физико-химическим воздействиям, цвету куба, продолжительности восстановления.

Доказана возможность повторного использования красителя индиго в процессе крашения суровой х/б пряжи, что позволяет сократить расход его на 20-55% в зависимости от концентрации красителя в исходной сточной воде и степени концентрирования.

Изучена возможность повторного использования акриловых дисперсий – Аппретан 9211, Лактон 606, Риполен, в качестве связующих производства нетканого материала. Разделение и концентрирование сточных вод проводилось в условиях фабрики нетканых материалов г. Сыктывкар на мембранной установке из 30 блоков разделения с использованием отечественных мембран УНФЗ и ПСА. В качестве связующего при производстве нетканого материала использовали концентрат, содержащий 31 г/л акрилата с добавлением свежей акриловой дисперсии и других компонентов согласно нормативно-технической документации. Концентрат испытан в производстве нетканой основы для столовой клеенки, полученные данные дают основание на применение композиции связующих без ухудшения физико-механических показателей нетканого полотна. Ультрафильтрат, полученный в процессе концентрирования сточных вод, содержащих дисперсии акрилатов, по требуемым показателям не превышал установленных норм по ПДК. Исследовались вопросы влияния рабочего давления и скорости потока жидкости над мембраной и концентрации связующего на селективность мембран, образования в примембранной поверхности слоя геля, и как следствие, повышенная концентрационная поляризация отрицательно влияла на проникновение через мембрану растворителя [4, 5, 6]. При соблюдении разработанных оптимальных параметров процесса баромембранного разделения и технологического режима установка обеспечивала очистку стоков, содержащих связующие отечественного и импортного типа на 95-99%. Только за счет экономии воды и акриловой дисперсии в основном производстве фабрики нетканых материалов произошло снижение себестоимости продукции на 7-10% не считая уменьшения отрицательного воздействия на окружающую среду. Целью разработки для математического описания процесса разделения промышленных стоков, содержащих активные красители (ярко-красный 5СХ, ярко-голубой КХ, золотисто-желтый 2КХ), применяемого при крашении пряжи на аппаратах АКДУ-6-02, является описание влияния физических параметров на механизм и кинетику процесса переноса ингредиентов через мембрану, сопровождающегося образованием слоя геля.

Процесс разделения осуществляется путем непрерывного концентрирования исходной сточной воды при циркуляции ее через мембранные блоки БТУ 0,5/2 [1] и постоянного отвода пермеата. Полученный концентрат периодически отводился для последующего использования.

Аппараты с трубчатыми мембранами являются аппаратами идеального вытеснения. В данном случае мы имеем невысокие концентрации активного красителя (0,4-0,5 г·л⁻¹) в воде и слабое влияние гелеобразования на проницаемость и селективность мембран в течение определенного времени. Предполагается, что разделение сточных вод ведется при постоянном давлении на всей длине блоков мембран и постоянной температуре.

Уравнение материального баланса расходов воды и красителя имеет вид:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3, \quad (1)$$

где Q_1 – расход вещества (вода и краситель) при подводе к рассматриваемому сечению, кг·с⁻¹; Q_2 – расход вещества на выходе из сечения, кг·с⁻¹; Q_3 – расход вещества при проходе через мембрану, кг·с⁻¹.

В общем виде для каждого компонента расходы определены следующим образом:

$$Q_1 = X_i(l) \cdot V \cdot S; \quad (2)$$

$$Q_2 = X_i(l + \Delta l) \cdot V \cdot S; \quad (3)$$

$$Q_3 = G_i \cdot dF = 2G_i \cdot \pi \cdot r \cdot dl, \quad (4)$$

где X_i – массовая доля компонента в потоке, кг·м⁻³; V – скорость движения потока, м с⁻¹; l – координата длины аппарата, м; S – поперечное сечение трубки мембраны, м²; G_i – проницаемость по веществу, кг·(м² с)⁻¹; F – поверхность разделения мембраны, м²; r – радиус трубки мембраны, м.

Значение массовой доли красителя при прохождении через рассматриваемое сечение примет вид:

$$X_K(l) \cdot V \cdot S = X_K(l + dl) \cdot V \cdot S + G_B(1 - \phi) \cdot 2\pi \cdot r \cdot dl ; \quad (5)$$

$$G_K = G_B \cdot (1 - \phi), \quad (6)$$

где X_K – массовая доля красителя, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$; G_K – проницаемость мембраны по красителю, $\text{кг} (\text{м}^2 \text{с})^{-1}$; G_B – проницаемость мембраны по воде, $\text{кг} \cdot (\text{м}^2 \text{с})^{-1}$; ϕ – степень разделения мембраны, или селективность.

После преобразования получена постоянная интегрирования из начальных условий ($l = 0$, $X_K = X_{K0}$) и выражение (5) принимает вид:

$$X_K = X_{K0} - \frac{2 \cdot G_B \cdot (1 - \phi)}{V \cdot r} \cdot l. \quad (7)$$

Изменение массовой доли красителя при прохождении сточной водой одного цикла ($l = L$) имеет вид:

$$dX_K = \frac{G \cdot F}{V} \cdot [X_{K0} - (1 - \phi)] \cdot d\tau, \quad (8)$$

где G – общая проницаемость мембраны, $\text{кг} \cdot (\text{м}^2 \text{с})^{-1}$; V – объем пермеата, полученного за данное время, м^3 ; τ – время процесса разделения, с.

По закону Дарси [2] изменение проницаемости мембран имеет следующий вид:

$$G = \frac{\Delta P}{v \cdot (R_M + R_G)}, \quad (9)$$

где ΔP перепад давления над мембраной, $\text{н} \cdot \text{м}^2$; v – коэффициент вязкости для сточной воды, кинематический, $\text{Нм} \cdot \text{с} \cdot \text{кг}^{-1}$; R_M – сопротивление мембраны, м^{-1} ; R_G – сопротивление слоя геля, м^{-1} .

Сопротивление мембраны определяется из уравнения проницаемости по воде и принимается постоянным. Сопротивление слоя геля находили из экспериментальных данных, используя уравнение (9). График зависимости R_G от τ представлен на рис. 2. Из него видно, что изменение сопротивления слоя геля начинается через 4,5-5,5 часа. Это критическое значение времени ($\tau_{кр}$), которому соответствует критическое значение сопротивления слоя геля; дальнейшее увеличение времени ведет к значительному увеличению R_G и уменьшению G .

Математическая обработка данных позволила получить следующий вид уравнения зависимости R_G от τ :

$$R_G = b \cdot (e^{n\tau} - 1), \quad (10)$$

где $b = 2,06 \cdot 10^{10}$, м^{-1} ; $n = 1,34 \cdot 10^{-4}$, с^{-1} .

Проверена адекватность полученной расчетной зависимости (10) с удовлетворительной сходимостью при оптимальных параметрах ведения процесса разделения, полученных ранее [3]. Решая уравнение (9 и 10), (8 и 11) получили:

$$G = \frac{\Delta P}{v \cdot [R_M + b \cdot (e^{n\tau} - 1)]}; \quad (11)$$

$$dX_K = \frac{\Delta P \cdot F \cdot [X_{K0} - (1 - \phi)]}{v \cdot V \cdot [R_M + b \cdot (e^{n\tau} - 1)]} \cdot d\tau. \quad (12)$$

Проинтегрировав (12) методом неопределенных коэффициентов [4], получили уравнение, позволяющее рассчитать значение массовой доли красителя в произвольном сечении аппарата.

$$X_K = X_{K0} + \frac{\Delta P \cdot F \cdot [X_{K0} - (1 - \phi)]}{v \cdot V \cdot n \cdot (R_M - b)} \cdot \left[n \cdot \tau + \ln \frac{R_M}{R_M + b \cdot (e^{n\tau} - 1)} \right]. \quad (13)$$

Зная изменение массовой доли красителя в произвольном сечении от времени, нашли оптимальное время и степень концентрирования сточных вод, содержащих активные красители, в зависимости от изменения значений сопротивления слоя геля над мембраной.

Предлагаемая схема разделения, концентрирования и очистки промышленных сточных вод в сочетании с сорбционной доочисткой до норм ПДК для открытых водоемов представлена на рисунке 1.

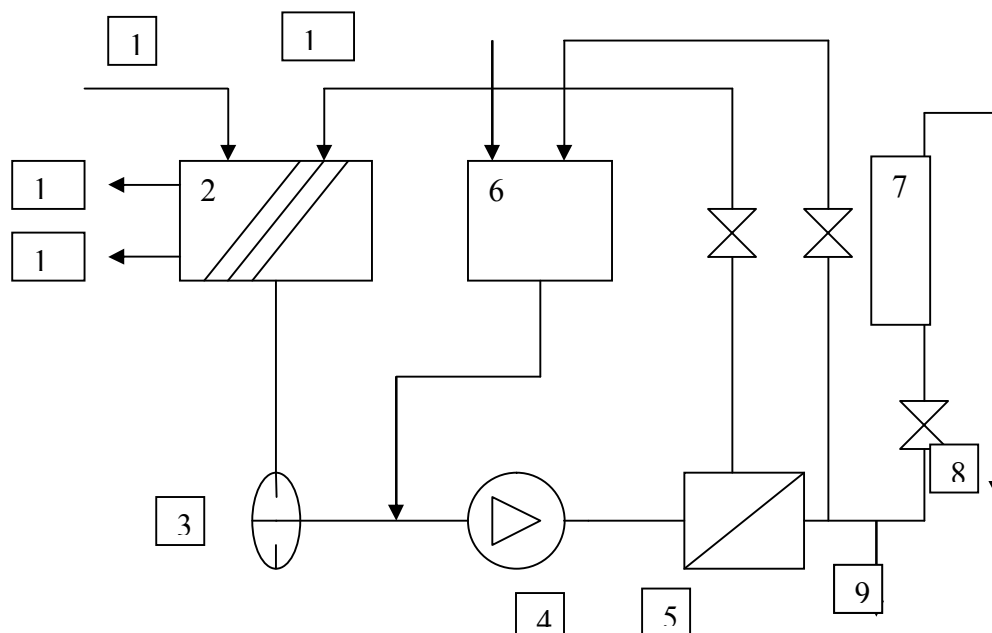


Рисунок 1 – Технологическая схема баромембранной установки с сорбционной доочисткой
 1 – исходная сточная вода; 2 – емкость-отстойник; 3 – фильтр предварительной очистки;
 4 – насос; 5 – баромембранный модуль; 6 – регенерирующее устройство; 7 – сорбционный фильтр;
 8 – сброс в открытый водоем; 9 – пермеат для повторного использования;
 10 – добавка реагентов; 11 – удаление легких фракций; 12 – вывод осадка

Разработана техническая документация и мембранные установки, которые концентрируют разбавленные растворы до такого состояния ценных компонентов, когда возможно повторное использование их в технологическом процессе (патенты РФ 1782938, 1816349, 2083509). Технические характеристики баромембранных установок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики баромембранных установок

Показатели	Типы установок		
	0,5	2,0	5,0
Производительность по пермеату, м ³ /час	0,5	2,0	5,0
Селективность, %, не менее:			
по поливинилового спирту	90-98	75-85	98-99
по дисперсным красителям	99-100	99-100	100
по кубовым красителям	72-80	87-92	96-99
по прямым красителям	70-74	90-92	81-85
по акриловым дисперсиям	95-99	74-82	92-97
Рабочее давление, МПа	0,2-0,3	0,3-0,4	0,5-1,0
Температура, °С	до 95	до 45	до 85
Вид мембранных элементов	ПСА,Ф-1	УФМ	УНФЗ
Потребляемая мощность, кВт	0,4	4,0	5,7
Занимаемая площадь, м ²	6	6,5	10

На основании вышеизложенного, предлагается комплексный подход к решению экологических, теплоэнергетических и экономических проблем, который включает в себя следующие основные направления:

- очистка, извлечение и возврат ценных компонентов из сточных вод предприятий текстильной, химической, пищевой промышленности;

- возможность создания систем замкнутого водопотребления в цехах с большим потреблением воды с ее предварительной очисткой и рекуперацией тепла;
- оптимизация расхода воды в процессах промывки ткани, направленная на выявление технологически обоснованных минимальных расходов воды и пара при заданном качестве получаемой продукции;
- перспективное планирование себестоимости продукции и ее снижение на основании влияния факторов формирующих издержки производства.

Практическая реализация данных направлений позволит сократить общие расходы свежей воды, тепловой энергии, объемы отведения сточных вод и паровоздушных смесей на 15-45% и вернуть в технологический цикл до 50% ценных компонентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Невский, А.В. Анализ и синтез водных ресурсосберегающих химико-технологических систем [Текст] / А.В. Невский, В.П. Мешалкин, В.А. Шарнин. – М.: 2004. – 212 с.
2. Рудобашта, С.П. Зональный метод определения коэффициента массопроводности от концентрации [Текст] / С.П. Рудобашта, Э.Н. Очнев, А.Н. Плановский, В.Н. Дмитриев // ТОХТ, 1975. – Т. 9. – С. 491-495.
3. Дыгнерский, Ю.И. Процессы и аппараты химической технологии [Текст]. – М.: Химия, 1995. – 400 с.
4. Корн Г. Справочник по математике [Текст] / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1996. – 425 с.

С.В. Федосов

Ивановский политехнический университет, г. Иваново
Доктор технических наук, профессор, президент
E-mail: Rektor@igasu.ru

В.А. Масленников

Ивановский политехнический университет, г. Иваново
Доцент, заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство»
E-mail: avtodor@igasu.ru

Ю.П. Осадчий

Ивановский политехнический университет, г. Иваново
Доцент кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
E-mail: Osadchiy-u@mail.ru

А.В. Маркелов

Ивановский политехнический университет, г. Иваново
Аспирант кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство»
E-mail: Altksandr203.37@mail.ru

S. FEDOSOV, V. MASLENNIKOV, U. OSADCHIY,
A. MARKELOV

RECOVERY OF USEFUL COMPONENTS FROM INDUSTRIAL WASTE AND ITS FURTHER RECYCLING

Positive results on division, концентрированию and the sewage treatment, containing polyvinyl spirit, disperse dyes, by an ultrafiltration and nanofiltration are under production conditions received. Characteristics of membranes, optimum parameters of conducting process, power consumption baromembeion installations are investigated. Reuse possibility in a production cycle of 10-25% of dyes and 40 % of polyvinyl spirit is established.

Keywords: sewage; recycling; disperse dyes; polyvinyl spirit; ultrafiltration; nanofiltration.

BIBLIOGRAPHY

1. Nevskij, A.V. Analiz i sintez vodnyh resursosberegajushhih himiko-tehnologicheskikh sistem [Tekst] / A.V. Nevskij, V.P. Meshalkin, V.A. Shamin. – M.: 2004. – 212 s.
2. Rudobashta, S.P. Zonal'nyj metod opredelenija koefefficienta massoprovodnosti ot koncentracii [Tekst] / S.P. Rudobashta, Je.N. Ochnev, A.N. Planovskij, V.N. Dmitriev // TOHT, 1975. – T. 9. – S. 491-495.
3. Dytnerskij, Ju.I. Processy i apparaty himicheskoi tehnologii [Tekst]. – M.: Himija, 1995. – 400 s.
4. Korn G. Spravochnik po matematike [Tekst] / G. Korn, T. Korn. – M.: Nauka, 1996. – 425 s.

S. Fedosov

Ivanovo polytechnic university, Ivanovo
Doctor of technical science, professor, president
Ph.: +7 (4932) 32-89-42
E-mail: Rektor@igasu.ru

V. Maslennikov

Ivanovo polytechnic university, Ivanovo
Associate professor, head of department «Automobiles and automobile economy»
E-mail: avtodor@igasu.ru

U. Osadchiy

Ivanovo polytechnic university, Ivanovo
Associate professor of department «Automobiles and automobile economy»
E-mail: Osadchiy-y@mail.ru

A. Markelov

Ivanovo polytechnic university, Ivanovo
Post-graduate student of department «Automobiles and automobile economy»
E-mail: Altksandr203.37@mail.ru

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 средний объем – 500 печатных знаков;
- **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.gu-unprk.ru

Адрес учредителя журнала

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29
+7 (4862) 42-00-24
www.gu-unpk.ru
E-mail: unpk@ostu.ru

Адрес редакции

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Государственный университет –
учебно-научно-производственный комплекс»
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.
+7 (4862) 73-43-49
www.gu-unpk.ru
E-mail: str_and_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов
Компьютерная верстка С.В. Солопов

Подписано в печать 27.09.2013 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 5,45.
Тираж 400 экз.
Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.