

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
Астафьев 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:
Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)
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.
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.
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)
Тамразян А.Г. 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:
Соловьев 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», 2014

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

Бондаренко В.М., Мигаль Р.Е., Ягулов Б.А. Резервы и экспозиция конструктивной безопасности зданий, эксплуатирующихся в агрессивной среде.....	3
Булгаков А.Г., Дыба В.П., Скибин Г.М. Расчет конструкций подпорных стен инженерных сооружений.....	11
Довбенко В.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок, усиленных полимерной композицией.....	22
Орлович Р.Б., Зимин С.С., Сазонов А.С. О работе облицовочного каменного слоя каркасных зданий при силовых воздействиях.....	29
Столповский Г.А., Жаданов В.И., Калинин С.В., Шведов В.Н. Особенности расстановки витых стержней в узловых сопряжениях деревянных конструкций.....	34
Черняева Р.П. К определению границ перераспределения усилий при расчете статически неопределеных железобетонных балок по методу предельного равновесия.....	41

Архитектура и градостроительство

Бударин Е.Л. Климатические особенности архитектурного формообразования энергоэффективного индивидуального жилища в современных условиях Ставропольского края.....	46
Пилипенко, О.В., Бакаева, Н.В., Матюшин Д.В. Численные исследования показателя биосферной совместимости объектов городского транспортного строительства (на примере улично-дорожной сети).....	59

Строительные материалы и технологии

Зверкова Е.Е., Фомина А.С. Экспериментальные исследования модулей упругости земляного полотна на автомобильных дорогах с грунтовой проезжей частью.....	68
Кузахметова Э.К., Вешкин А.И. Комплексный учет техногенного воздействия на грунты в основании и в сооружении при назначении его конструкции.....	74
Лукутцова Н.П., Постникова О.А., Николаенко А.Н., Мацаенко А.А., Тужикова М.Ю. Повышение экологической безопасности декоративного мелкозернистого бетона на основе использования техногенного глауконитового песка.....	79
Соломенцев А.Б., Бухтияров С.В. Сравнительная оценка методов определения сцепления дорожного битума с адгезионными добавками с поверхностью минерального материала.....	85
Федоров С.С., Тютюнов Д.Н., Клюева Н.В., Студеникина Л.И. К вопросу моделирования процесса управления системой теплоснабжения ресурсоэффективных зданий.....	92



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

№1 (51) 2014
(January-February)

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

Bock T. Doc. Sc. Tech., Prof. (**Germany**)
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.
Klueva N.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Korobko A.V. Doc. Sc. Tech., Prof.
Korol E.A. 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.
Sikora Z. Doc. Sc. Tech., Prof. (**Poland**)
Tamrazyan A.G. 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:
ПИ № ФС77-47354 from 03.04.11 г.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2014

BUILDING AND RECONSTRUCTION

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

Contents

Theory of engineering structures.

Building units

Bondarenko V., Myhal' R., Yagupov B. Reserve factor and environmental
exposure in the context of structural safety of buildings operating in aggressive
environment..... 3

Bulgakov A., Dyba V., Skibin G. Structural analysis of retaining walls of
engineering structures..... 11

Dovbenko V. Experimental researches of concrete beams reinforced with
polymer composition..... 22

Orlovich R., Zimin S., Sazonov A. Behavior of facing stone on the walls
of framed buildings issues regarding outside brick..... 29

Stolpovsky G., Zhadanov V., Kalinin S., Shvedov V. The peculiarities of the
arrangement of twisted rods in nodal of wooden structures..... 34

Chernyaeva R. To delimitation of redistribution of efforts at calculation of
statically indefinable ferroconcrete beams on a method of limit balance..... 41

Architecture and town-planning

Budarin E. Climatic features of the architectural shaping of the power effective
individual dwelling in the modern conditions of the Stavropol territory..... 46

O. Pilipenko, Bakaeva N., Matyushin D. Numerical investigations of
biosphere compatibility indicator for objects of transport construction on case
of the road network..... 59

Construction materials

and technologies

Zverkova E., Fomina A. Experimental studies on elasticity modules for earth
roads..... 68

Kuzahmetova E., Veshkin A. The complex accounting of technogenic im-
pact on soil in the foundation and the construction during its design..... 74

Lukutcova N., Postnikova O., Nikolaenko A., Macaenko A., Tuzhikova M.
The improved environmental safety of decorative and fine-grained concrete on the
basis of the use of technogenic glauconitic sands..... 79

Solomentsev A., Bukhtiyarov S. Comparison of road clutch bitumen
adhesive additives with the surface mineral material..... 85

Fedorov S., Tyutyunov D., Klyuyeva N., Studenikina L. The problem
of modeling of process control system of heat-supply resource-efficient
buildings..... 92

ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

УДК 629

БОНДАРЕНКО В.М., МИГАЛЬ Р.Е., ЯГУПОВ Б.А.

РЕЗЕРВЫ И ЭКСПОЗИЦИЯ КОНСТРУКТИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЗДАНИЙ, ЭКСПЛУАТИРУЮЩИХСЯ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ

При решении задач строительства и реконструкции зданий и сооружений необходимо учитывать параметры конструктивной безопасности железобетонных конструкций, получивших коррозионные повреждения. В статье приводятся предложения, позволяющие количественно оценить резервы и экспозицию конструктивной безопасности и, соответственно, снижение силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций.

Ключевые слова: конструктивная безопасность; агрессивная среда; коррозионное повреждение бетона.

Конструктивная безопасность зданий – это такое инженерное состояние работоспособности конструкций, оснований, особенностей их совместного силового сопротивления ожидаемым нагрузкам и воздействиям с учетом возможных сочетаний их по направлению, интенсивности и режиму, которое с заданной надежностью обеспечивает установленное функциональное использование. Конструктивная безопасность зданий зависит от проектно-композиционных и конструктивных решений, технологических мер при возведении и эксплуатации, которые должны быть обеспеченными на всех этапах существования объекта (строительства, эксплуатации, ремонта, реконструкции, разборки и демонтажа).

Интересы конструктивной безопасности зданий требуют обеспечения:

а) геометрической неизменяемости конструктивной схемы на всех перечисленных этапах их существования (а при реконструкции и демонтаже – с помощью дополнительных связей) [11, 13];

б) устойчивого напряженно-деформированного состояния и положения в пространстве и во времени всех несущих конструкций здания [8];

в) живучести статически неопределеных систем (в смысле И.М. Рабиновича [13]).

И все же, несмотря на различное назначение перечисленных условий, общими является обеспечение прочности и устойчивости отдельных несущих элементов системы и т.н. «неизбыточных связей».

Вместе с тем оценка конструктивной безопасности – обязательная стадия процедуры принятия решений по вопросам продолжения эксплуатации или технологического переустройства производства, реконструкции и т.п. (осуществляется только по итогам натурного обследования).

Однако существующий регламентированный подход к решению задач конструктивной безопасности почти всегда ограничивается равновесной (или псевдоравновесной) постановкой, а другие варианты анализа заменяются набором т.н. коэффициентов условий работы и не дает ответы на вопросы изменения силового сопротивления (включая вопрос об экспозиции конструктивной безопасности), связанные с диссипацией энергии при деформировании и вследствие коррозионных повреждений материалов конструкций, обусловленных агрессивным воздействием среды.

В целом, задача сводится к учету энергетических несовершенств силового сопротивления материалов и необратимого накопления повреждений, к выявлению ключевых элементов системы, ответственных за геометрическую неизменяемость, кинетическую устойчивость и живучесть.

Анализ силового состояния и прогноз его изменения в расчетный период исчерпывает главные вопросы о потенциале и экспозиции конструктивной безопасности.

В привязке к неравновесным процессам диссипации силового сопротивления бетона и железобетона в качестве исходной посылки принимается известный энтропийный признак, согласно которому скорость изменения исследуемого фактора пропорциональна относительному дефициту этого фактора по отношению к некоторой фиксируемой величине:

$$\frac{d\Delta L}{dt} = \alpha \Delta L, \text{ где } L = \frac{L_{kp} - L}{L_{kp}} = 1 - \frac{L}{L_{kp}}, \quad (1)$$

где α и L_{kp} – некоторые эмпирические константы.

Решение (1) имеет заведомо энтропийный характер.

$$L(t) = [1 - \Delta L(t_0, t_0) e^{-\alpha(t-t_0)}] / L_{kp}. \quad (2)$$

На ранних стадиях развития теории неравновесных процессов запись (2) часто использовалась для описания функции старения [3], функции простой ползучести [1], функции повреждений [12]. Однако, несмотря на кажущуюся очевидную простоту соотношений (1) и (2) они очень редко используются и заменяются эмпирическими зависимостями. Причина этого заключается в том, что под влиянием факторов нагружения меняется не только структура материала (бетона) и характеристики силового сопротивления, но и изменяется кинетика самого неравновесного процесса (деформировании во времени – ползучести [7]) и процесса коррозионного деградирования бетона [4].

В частности, применительно к процессу коррозионного повреждения бетона при сжатии вначале при малых уровнях действующих напряжений (примерно до $\frac{\sigma}{R_{dl}} \leq 0,5$) бетон уплотняется и, соответственно, сдерживается (тормозится) продвижение коррозионного фронта, одновременно химсоставляющие агрессивной среды и составляющие цементного камня бетона, взаимодействуя, образуют нерастворимые вторичные продукты коррозии. Эти продукты коррозии кольматируют поры бетона; продвижение коррозионного фронта прекращается, и физико-химическое структурное состояние бетона стабилизируется.

При дальнейшем усилении обжатия бетон разуплотняется, поры объединяются, появляются сначала локальные, а затем и магистральные трещины, процесс кольматации замедляется, однако, его кинетические признаки сохраняются до уровня обжатия $\frac{\sigma}{R_{dl}} < 1$, но, однако, кольматационные признаки сохраняются вплоть до уровня обжатия $\frac{\sigma}{R_{dl}} \cong 1$ – процесс энтропийного затухания продолжается, а глубина проникновения коррозионных повреждений в тело бетона асимптотически стабилизируется, фиксируется. При этом численные значения параметров α и δ_{kp} (1) для каждого константного фиксируемого уровня обжатия ($\sigma < R_{dl}$) и физико-химические характеристики агрессивной среды и температуры определяются эмпирически*. При этом соотношение (1) приемлемо только для энтропийно затухающей кольматационной формы развития коррозионных повреждений бетона.

В действительности, как это было выявлено экспериментально на примере такого неоднородного материала как древесина Ю.М. Ивановым [10], композиционно структурно неоднородным материалам, в частности бетону, свойственно под нагрузкой менять кинетические характеристики неравновесных процессов силового сопротивления [7].

При напряжениях $R \geq \sigma \geq R_{dl}$ структура материала разрушается [11]. Кинетическое развитие повреждений (и других неравновесных процессов силового сопротивления) выходит за рамки энтропийного затухающего развития (2). В связи с этим помехи продвижения коррозионно-агрессивной среды резко уменьшаются, энтропийно-затухающий процесс заменяется фильтрационным, при котором продукты коррозии не кольматируются в теле бетона, а вымываются. Однако полное разрушение бетона происходит на следующем этапе развития нерав-

* Представляется практически целесообразным для основных сочетаний уровня нагружения, класса бетона и химических характеристик агрессивной среды разработать специальные регламенты.

новесного процесса коррозионных повреждений – имеет место развитие продвижения агрессивной среды. Кинетический тип развития повреждений называется лавинным.

Базовые кинетические зависимости типа (1) не в состоянии описать все кинетические стадии развития повреждений по мере роста напряжений и разрушение структуры материала, вызванного этим ростом.

Потребовалось его нелинейное обобщение, которое принципиально расширило область применения [2, 9].

Итоговая запись полученного уравнения имеет вид:

(3)

где δ – глубина фронта продвижения; m – степенной параметр, зависящий от уровня действующих напряжений [8].

Приведенный степенной параметр m отражает кинематические особенности развития коррозионных повреждений [3].

- при $m < 0$ имеет место быть энтропийно затухающая кинетика (для коррозионных повреждений процесс сопровождается кольматацией пор);

- при $0 < m < 1$ происходит незатухающее продвижение фронта коррозионных повреждений, т.е. так называемый фильтрационный процесс;

- при $m = 1$ развиваются лавинное продвижение коррозионных повреждений с полным разрушением бетона (рис. 1).

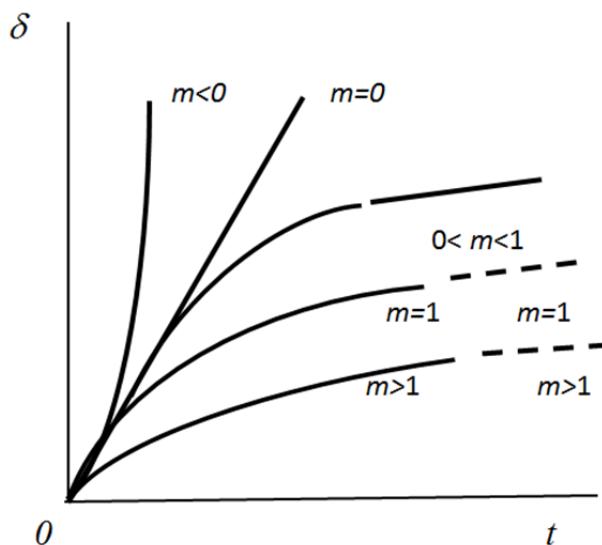


Рисунок 1 – Примерная схема кинетики развития коррозионных повреждений во времени в зависимости от значений параметра

Решение уравнения (3) приведено в [4]. С позиции конструктивной безопасности наиболее благоприятные случаи оказываются в формате кольматационного развития:

- при $m < 0$ (4)

и в формате фильтрационного развития:

- при $0 < m < 1$ (5)

Однако информация о продвижении фронта агрессии во времени по глубине бетонного тела не исчерпывает вопрос о распределении и положении коррозионного повреждения материала по координатам пространства. Очевидно, что наибольшие повреждения располагаются по поверхности контакта с агрессивной средой, а по мере удаления от неё степень коррозионного повреждения уменьшается. Другими словами, степень сохранения исходных характеристик бетона возрастает по мере удаления от границы контакта агрессора с бетоном.

В [6] предложена соответствующая функция сохранения (рис. 2).

(6)

где σ – отсчитываемая от линии нулевых напряжений, сопряжения которой обеспечивается фиксацией граничных условий. Здесь ψ – функция сохранения исходных характеристик бетона.

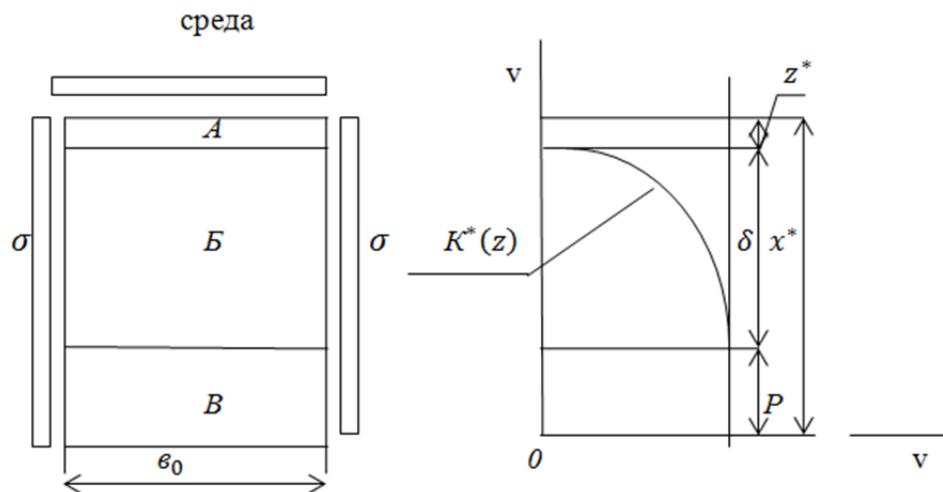


Рисунок 2 – Распределение зон напряжения коррозией бетонного образца:

A – зона полного разрушения материала толщиной ;

Б – переходная зона частичного поражения бетона

В – зона неповрежденного коррозией образца Р

Учитывая сопряженность функции на границе зон, записываем условия для определения параметров:

$$= \dots = (7)$$

- при $z=p+\delta$ будет (8)

Решение системы (7)-(8) дает следующие значения искомых параметров:

- — — (9)

Функция (6) и решение (7) и (8) строится чисто геометрически и одинаково приемлемы для всех механических характеристик. Это позволяет принять:

и применить признак эквивалентности, который состоит в условном приведении к неповрежденному бетону, расчетно уменьшая соответствующую часть сечения.

Расчетная величина напряжений, требуемая для вычисления параметра σ , определяется при однородном напряженном состоянии:

$$= \dots \quad (11)$$

где F – значение силы, обжимающей бетонный образец; A – площадь сечения элемента при неоднородном напряженном состоянии, например, при поперечном изгибе (рис. 3), как средне расчетная величина.

Как показано в [9], действующие в сжатой зоне бетона напряжения с учетом коррозионных повреждений описываются зависимостью:

(12)

— (13)

— в связи с малым значением далее принимается:

(14)

где M – действующий момент в сечении – изгибающий момент; M_u – предельный момент (несущая способность) для того же сечения с учетом повреждения коррозией; E_s – касательный модуль в момент разрушения бетона; E_0 – то же, начальный модуль при нулевом напряжении.

Запись (10) приводит эпюру действующих в сечении нормальных напряжений сечений (рис. 3, в) к расчетному значению:

(15)

Заметим, что влияние уточнений, возможных по результатам учета зоны B (р) считается незначительным.

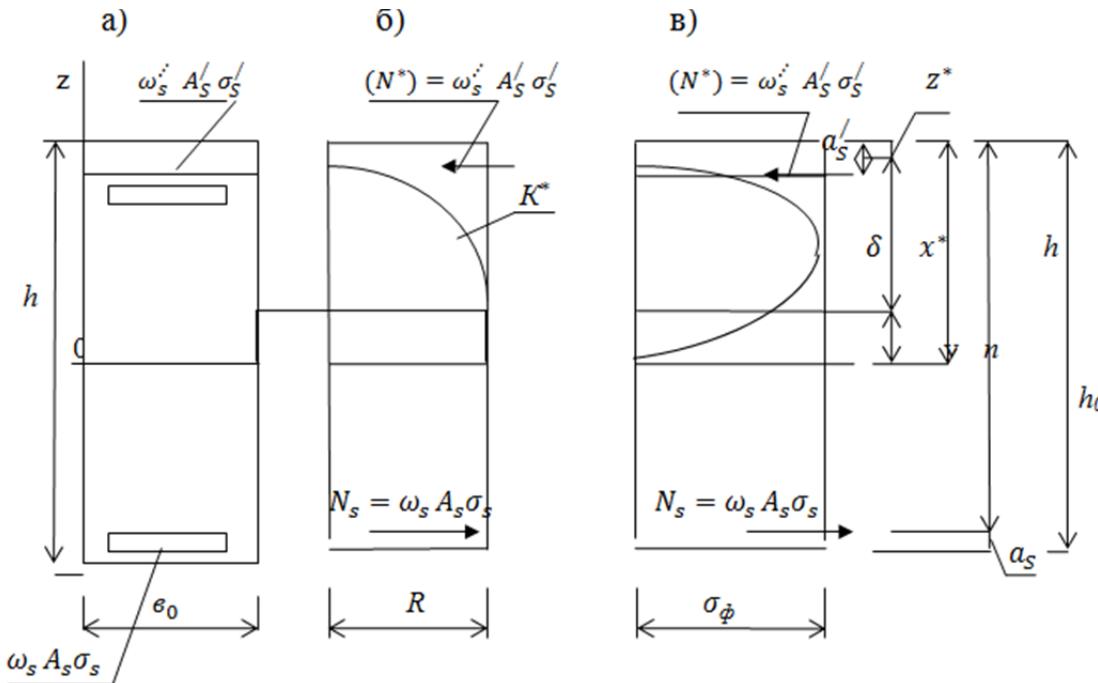


Рисунок 3 – Схема поперечного сечения и напряженное состояние железобетонного бруса, поврежденного коррозией: а – поперечное сечение бруса, б – распределение предельных усилий в арматуре и предельных характеристик прочности бетона, используемое для вычисления предельного момента силового сопротивления; в – распределение усилий в арматуре и напряжений в бетоне сжатой зоны сечения, соответствующих действующему изгибающему моменту M

В качестве основы оценки резерва и экспозиции конструктивной безопасности принимаются схемы 3 (б) и 3 (в).

При этом внешним условиям устанавливается ограничение

Это условие мотивируется тем, что поступающая коррозионная среда (коррозионные повреждения) не должно распространяться на бетон растянутой части сечения, которая при расчете прочности вообще не учитывается. Кроме того, пересечение фронта коррозионного повреждения линии разных знаков напряжений может перевести кольматационный процесс в фильтрационный, что для конструкций зданий неприемлемо.

Далее:

1. В случае, когда предельный момент, отсчитываемый от центра тяжести растянутой арматуры, с учетом (4), (5), (6) будет равен:

(16)

(17)

в большинстве случаев напряжения в арматуре можно считать равными пределу прочности (

2. В случае, когда $m > 1$ и $\delta_{kp} < x^* - z^*$: $p > 0$ – развитие силовых повреждений носит кольматационный характер:

$$M_{np}^* = \omega_s' A_s' \sigma_s' (h_0 - a_s') + \frac{2}{3} b_0 \delta_{kp} \left(h_0 - z^* - \frac{5}{8} \delta_{kp} \right) R + \\ + b_0 R (x^* - z^* - \delta_{kp}) \left[h_0 - x^* + \frac{1}{2} (x^* - z^* - \delta_{kp}) \right], \quad (18)$$

$$\text{где } x^* = \frac{3(\omega_s A_s \sigma_s - \omega_s' A_s' \sigma_s')}{2 b_0 R} + z^* - \frac{1}{2} p, \quad (19)$$

здесь предусмотрено возможное уменьшение зоны B (p).

Для обоих случаев (16) и (18) запас конструктивной безопасности оценивается отклонением:

$$K_{kb} = \frac{M_{np}^*}{M}, \quad (20)$$

где M – действующий изгибающий момент.

Экспозиция конструктивной безопасности оценивается также в двух случаях:

$$\delta_{kp} > x^* \text{ и } \delta < x^*, \quad (21)$$

которая равна времени, необходимому для преодоления расстояния $x^* - \delta = \bar{\delta}$, рассчитываемой по формулам (5) и (6), при этом экспозиции конструктивной безопасности $t - t_0$ [5].

1. В случае, когда $\delta_{kp} > x^*$ при коррозионных повреждениях кольматационного типа; т.е. экспозиция конструктивной безопасности равна времени $t - t_0$, необходимом для преодоления расстояния $\bar{\delta} = x^* - \delta(L)$, где $\delta(L)$ – глубина повреждений к моменту началу наблюдения, при $m = 1$ по формуле (4):

$$\bar{\delta} = [1 - \Delta\delta(t_0, t_0) e^{-\alpha(t-t_0)}] x^*, \quad (22)$$

$$\text{откуда } t - t_0 = \frac{1}{2} \left[\ln \Delta\delta(t_0, t_0) - \ln \left(1 - \frac{\bar{\delta}}{x^*} \right) \right]. \quad (23)$$

2. В случае, когда $\delta < x^*$ при коррозионных повреждениях фильтрационного типа, экспозиция конструктивной безопасности при которой равна времени $t - t_0$, необходимом для преодоления расстояния $\bar{\delta} = x^* - \delta(L)$ при $m = 0$ по формуле (5):

$$\bar{\delta} = [\Delta\delta(t_0, t_0) + \alpha(t - t_0)] x^*; \quad (24)$$

$$\text{откуда } t - t_0 = \frac{1}{2} \left[\frac{\bar{\delta}}{x^*} - \Delta\delta(t_0, t_0) \right]. \quad (25)$$

Приведенные предложения позволяют количественно оценить резервы и экспозицию конструктивной безопасности железобетонных конструкций, получивших коррозионные повреждения, и, соответственно, снижение силового сопротивления поврежденных коррозией железобетонных конструкций, необходимые при решении задачи использования или реконструкции зданий и сооружений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Арутюнян, Н.Х. Некоторые вопросы теории ползучести [Текст] / Н.Х. Арутюнян. – М.: Гостехиздат, 1952.
2. Бондаренко, В.М. Некоторые вопросы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко. – Харьков: изд-во Харьковского гос. университета, 1968.
3. Бондаренко, В.М. Инженерные методы нелинейной теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко. – М.: Стройиздат, 1982.
4. Бондаренко, В.М. Феноменология кинетики повреждений бетона железобетонных конструкций эксплуатирующихся в агрессивной среде [Текст] / В.М. Бондаренко // Бетон и железобетон. – №2. – 2002.
5. Бондаренко, В.М. Экспозиция живучести железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Известия вузов. Строительство. – Новосибирск. – 2007. – №5.
6. Бондаренко, В.М. Некоторые фундаментальные вопросы развития теории железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2001. – №2.
7. Бондаренко, В.М. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко // Академия. Архитектура и строительство. – М. – 2007. – №1.
8. Бондаренко, В.М. К вопросу об устойчивом и неустойчивом сопротивлении железобетонных конструкций, поврежденных коррозией [Текст] / В.М. Бондаренко // Известия ОрелГТУ. Серия «Строительство. Транспорт». – Орел: ОрелГТУ. – 2009. – №1/2 (538).

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

9. Бондаренко, В.М. Элементы диссипативной теории силового сопротивления железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2017. – №2.
10. Иванов, Ю.М. Основные вопросы изучения ползучести древесины, книга Исследование прочности, пластичности и ползучести строительных материалов [Текст] / Ю.М. Иванов. – М.: Стройиздат, 1955.
11. Леонтьев, Н.Н. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / Н.Н. Леонтьев, Д.Н. Соловьев, Л.А. Амосов. – М.: АСВ, 1993.
12. Попеско, А.И. Работоспособность железобетонных конструкций, подверженных коррозии [Текст] / А.И. Попеско. – С.-П.: С/П АСУ, 1996.
13. Рабинович, И.М. Основы строительной механики стержневых систем [Текст] / И.М. Рабинович. – М.: Стройиздат, 1960.
14. Чернышев, Е.М. Неоднородность структуры и сопротивление разрушению конгломератных строительных композитов [Текст] / Е.М. Чернышев, С.Н. Дьяченко, А.И. Макеев. – Воронеж: ВГАСУ, 2012.

Бондаренко Виталий Михайлович

Российская академия архитектуры и строительных наук, г. Москва

Академик РААСН, доктор технических наук, профессор

Тел.: +7 (495) 678-32-05

Мигаль Римма Евгеньевна

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Кандидат технических наук

E-mail: str_and_rek@mail.ru

Ягупов Борис Аркадьевич

Кандидат технических наук

E-mail: str_and_rek@mail.ru

V. BONDARENKO, R. MYHAL', B. YAGUPOV

RESERVE FACTOR AND ENVIRONMENTAL EXPOSURE IN THE CONTEXT OF STRUCTURAL SAFETY OF BUILDINGS OPERATING IN AGGRESSIVE ENVIRONMENT

Taking into account the parameters of structural safety for corrosion-damaged reinforced concrete structures is one of the most important issues in the field of construction and reconstruction. The work provides suggestions to quantify reserve factors and environmental exposure effects for building structures presenting it in the form of strength loss in corrosion-damaged reinforced concrete structures.

Keywords: structural safety; aggressive environment; corrosion-damaged reinforced concrete structures.

BIBLIOGRAPHY

1. Arutjunjan, N.H. Nekotorye voprosy teorii polzuchesti [Tekst] / N.H. Arutjunjan. – M.: Gostehizdat, 1952.
2. Bondarenko, V.M. Nekotorye voprosy nelinejnoj teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko. – Har'kov: izd-vo Har'kovskogo gos. universiteta, 1968.
3. Bondarenko, V.M. Inzhenernye metody nelinejnoj teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, S.V. Bondarenko. – M.: Stroizdat, 1982.
4. Bondarenko, V.M. Fenomenologija kinetiki povrezhdenij betona zhelezobetonnyh konstrukcij jeksploatirujushhihsja v agressivnoj srede [Tekst] / V.M. Bondarenko // Beton i zhelezobeton. – №2. – 2002.
5. Bondarenko, V.M. Jekspozicija zhivuchesti zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – Novosibirsk. – 2007. – №5.
6. Bondarenko, V.M. Nekotorye fundamental'nye voprosy razvitiya teorii zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2001. – №2.
7. Bondarenko, V.M. Uroven' naprijazhennogo sostojanija kak faktor strukturnyh izmenenij i reologicheskogo silovogo soprotivlenija betona [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.I. Karpenko // Akademija. Arhitektura i stroitel'stvo. – M. – 2007. – №1.

8. Bondarenko, V.M. K voprosu ob ustojchivom i neustojchivom soprotivlenii zhelezobetonnyh konstrukcij, povrezhdennyh korroziej [Tekst] / V.M. Bondarenko // Izvestija OrelGTU. Serija «Stroitel'stvo. Transport». – Orel: OrelGTU. – 2009. – №1/2 (538).
9. Bondarenko, V.M. Jelementy dissipativnoj teorii silovogo soprotivlenija zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 2017. – №2.
10. Ivanov, Ju.M. Osnovnye voprosy izuchenija polzuchesti drevesiny, kniga Issledovanie prochnosti, plastichnosti i polzuchesti stroitel'nyh materialov [Tekst] / Ju.M. Ivanov. – M.: Strojizdat, 1955.
11. Leont'ev, N.N. Osnovy stroitel'noj mehaniki sterzhnevyh sistem [Tekst] / N.N. Leont'ev, D.N. Sobolev, L.A. Amosov. – M.: ASV, 1993.
12. Popesko, A.I. Rabotosposobnost' zhelezobetonnyh konstrukcij, podverzhennyh korrozii [Tekst] / A.I. Popesko. – S.-P.: S/P ASU, 1996.
13. Rabinovich, I.M. Osnovy stroitel'noj mehaniki sterzhnevyh sistem [Tekst] / I.M. Rabinovich. – M.: Strojizdat, 1960.
14. Chernyshev, E.M. Neodnorodnost' struktury i soprotivlenie razrusheniju konglomeratnyh stroitel'nyh kompozitov [Tekst] / E.M. Chernyshev, S.N. D'jachenko, A.I. Makeev. – Voronezh: VGASU, 2012.

V. Bondarenko

Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow
Academician RAABS, doctor of technical science, professor
Ph.: +7 (495) 678-32-05

R. Myhal'

Moscow state construction university, Moscow
Candidate of technical sciences
E-mail: str_and_rek@mail.ru

B. Yagupov

Moscow state construction university, Moscow
Candidate of technical sciences
E-mail: str_and_rek@mail.ru

БУЛГАКОВ А.Г., ДЫБА В.П., СКИБИН Г.М.

РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИЙ ПОДПОРНЫХ СТЕН ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

В данной статье приводятся результаты теоретических исследований по решению задачи устойчивости подпорных стен инженерных сооружений с помощью предельного анализа пластических систем. Представлен метод расчета по несущей способности, основанный на аналитических решениях по определению верхних и нижних оценок несущей способности грунтов.

Ключевые слова: метод предельного анализа; расчет конструкций; подпорные стены; инженерные сооружения.

Важную роль при возведении многих инженерных сооружений играют подпорные стены. Их расчет является ответственной задачей, от корректного решения которой напрямую зависит живучесть строительных объектов и их способность выдерживать широкий спектр нагрузок, которым они могут подвергаться в период эксплуатации.

При достижении давлением P (рис. 1) на подпираемый массив грунта некоторого критического значения наступает состояние общей текучести (происходит смещение стенки в сторону от засыпки, в грунте засыпки формируется область обрушения грунта, границей которой является поверхность скольжения).

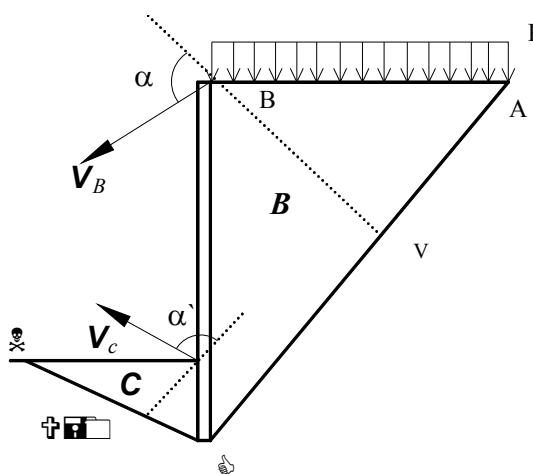


Рисунок 1 – Расчетная схема области пластического течения, разделенной на треугольные блоки B и C, подпорная стенка принимается абсолютно гладкой

Теоретической основой получения оценок несущей способности являются экстремальные свойства предельных состояний текучести, описываемые двумя теоремами А.А. Гвоздева [1].

Теорема о нижней оценке несущей способности системы «стенка – окружающий массив грунта» формулируется следующим образом:

- если в подпорном сооружении и окружающем массиве грунта построено поле напряжений, удовлетворяющее уравнениям равновесия, причем функции текучести и для обратной засыпки грунта, и для подпорной стенки не положительны, то давление P на обратную засыпку, соответствующее построенным полям напряжений, не будет превышать несущей способности.

Теорема о верхней оценке несущей способности системы «стенка – окружающий массив грунта» записывается так:

- пусть $v_i, \dot{\varepsilon}_{ij}$ – произвольное кинематически допустимое поле скоростей и скоростей деформаций. По заданным скоростям деформаций $\dot{\varepsilon}_{ij}$ напряжения σ_{ij} определяются либо

единственным образом, если поверхность текучести строго выпукла, либо с известной степенью произвола. Если на систему «стенка – окружающий массив грунта» действуют внешние силы P , γ , то верхнюю оценку предельной интенсивности давления P можно найти из уравнения:

$$\int_V \sigma_{ij} \dot{\varepsilon}_{ij} dV = \int_V \gamma v_1 dV + \int_{S_q} Pv_1 dS, \quad (1)$$

где V – область, занимаемая обобщенным телом подпорной стенки и грунтового массива; на поверхности S_q задана пригрузка.

Применение первой теоремы, т.е. статического метода оценки несущей способности, дает нижнюю оценку несущей способности, а применение второй теоремы, т.е. кинематического метода, дает верхнюю оценку. Если верхняя и нижняя оценки совпадают, то это означает, что найдено точное значение несущей способности.

Для построения кинематически допустимого поля скоростей в грунтовом основании будем использовать треугольные блоки, в каждом из которых скорости деформаций от точки к точке не меняются. Следовательно, компоненты скоростей являются линейными функциями координат. Поэтому равенство скоростей в двух угловых точках соседних блоков гарантирует непрерывность скоростей по всей границе. На рисунке 1 двигающаяся часть грунтового основания, область пластического течения разделена на треугольные блоки одного типа B и C . Рассмотрим блок B (рис. 2). В выбранной системе координат поле скоростей выглядит так:

$$v_1 = v_1^B (1 - x_B / h_B); \quad v_2 = v_2^B (1 - x_B / h_B). \quad (2)$$

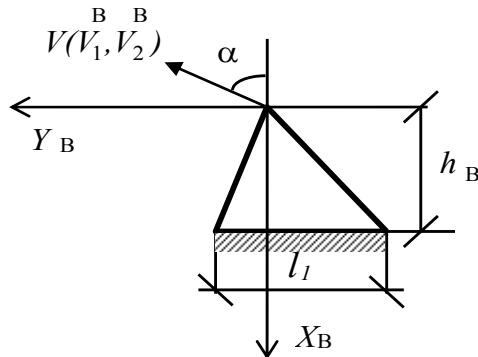


Рисунок 2 – Треугольный блок B

При этом из ассоциированного закона течения следует, что координаты скорости верхней угловой точки не могут быть произвольными, а должны удовлетворять следующему равенству:

$$\frac{v_2^B}{v_1^B} = -\sqrt{s^2 - 1}, \text{ где } s = \frac{A+1}{A-1}.$$

Тогда угол между вектором \bar{v}_B и нормалью к неподвижной грани блока $\alpha = \arctg(\sqrt{s^2 - 1})$ и зависит только от прочностных параметров грунтовой среды. Заметим, что мощность пластического деформирования блока B :

$$M_B = - \int_{\Delta} C \dot{\varepsilon}_3 dx dy = - \int_{\Delta} C \dot{\varepsilon}_3 dx dy = -C \dot{\varepsilon}_3 \int_{\Delta} dx dy.$$

Из (2) следует:

$$\dot{\varepsilon}_x = \frac{\partial v_1}{\partial x} = -\frac{v_1^B}{h_B}, \quad \dot{\varepsilon}_y = \frac{\partial v_2}{\partial y} = 0, \quad \dot{\gamma}_{xy} = \frac{\partial v_1}{\partial y} + \frac{\partial v_2}{\partial x} = -\frac{v_2^B}{h_B}, \quad v_1^B = -|\bar{v}_B| \cos \alpha,$$

$$\begin{aligned}\dot{\varepsilon}_3 &= \frac{\dot{\varepsilon}_x + \dot{\varepsilon}_y}{2} - \frac{1}{2} \sqrt{(\dot{\varepsilon}_x - \dot{\varepsilon}_y)^2 + \dot{\gamma}_{xy}} = -\frac{v_1^B}{2h_B} - \frac{1}{2} \sqrt{\frac{(v_1^B)^2 + (v_2^B)^2}{h_B^2}} = \\ &= -\frac{1}{2h_B} (v_1^B + |\bar{v}^B|) = -\frac{|\bar{v}^B|}{2h_B} (1 - \cos \alpha), \\ M_B &= -C \dot{\varepsilon}_3 S_\Delta = -C \dot{\varepsilon}_3 \frac{l_1 h_b}{2} = \frac{C}{2h_B} |\bar{v}^B| (1 - \cos \alpha) \frac{l_1 h_B}{2} = \\ &= \frac{1}{4} C |\bar{v}_B| (1 - \cos \alpha) l_1.\end{aligned}$$

Аналогично в блоке *C* (рис. 3) в выбранной системе координат поле скоростей выглядит так:

$$v_1 = v_1^C (1 - x_C/x_C); v_2 = v_2^C (1 - x_C/h_C).$$

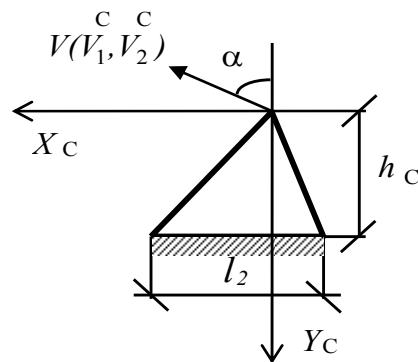


Рисунок 3 – Треугольный блок *C*

Тогда

$$M_C = - \int_{\Delta} C \dot{\varepsilon}_3 dx dy = \frac{1}{4} \cdot C |\bar{v}_C| (1 - \cos \alpha) l_2.$$

Определим мощность от внешних сил в блоке (рис. 4):

$v_0 = \omega r = \omega h \operatorname{tg}(\alpha - \beta)$ – вертикальная составляющая скорости в точке *B* грунтового массива; $M_p = \omega h \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \frac{P l_p}{2}$ – мощность от внешней равномерно распределенной силы интенсивностью *P*.

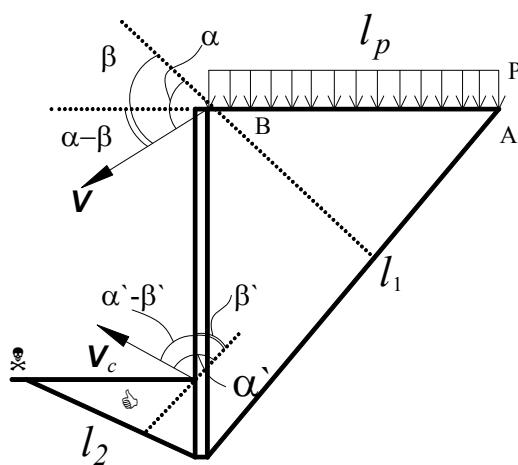


Рисунок 4 – Расчетная схема пластического течения для определения распределения скоростей в блоках *B* и *C*

Если скорость деформаций по блоку (рис. 5, а) постоянная, то функция скорости от координат линейная: $v = ax + by$.

$$B: al_p = v_0 \Rightarrow a = \frac{v_0}{l_p},$$

$$K: \frac{v_0}{l_p} l_p + bh = 0, \text{ так как в точке } K v = 0, b = -\frac{v_0}{h}.$$

Распределение вертикальных скоростей в блоке *B* (см. рис. 5, а) в выбранной системе координат:

$$v = \frac{v_0}{l_p} x - \frac{v_0}{h} y.$$

Мощность внешних объемных сил блока *B* (см. рис. 4):

$$\begin{aligned} M_\gamma &= 1 \iint_{\Delta BAK} \gamma v dx dy = \gamma v_0 \int_0^{l_p} dx \int_0^{xh/l_p} \left(\frac{x}{l_p} - \frac{y}{h} \right) dy = \\ &= \gamma v_0 \int_0^{l_p} \left(\frac{x^2 h}{l_p^2} - \frac{x^2 h^2}{2hl_p^2} \right) dx = \gamma v_0 \frac{hl_0}{6} = \gamma \omega h t g(\alpha - \beta) \frac{h^2 l_p}{6}. \end{aligned}$$

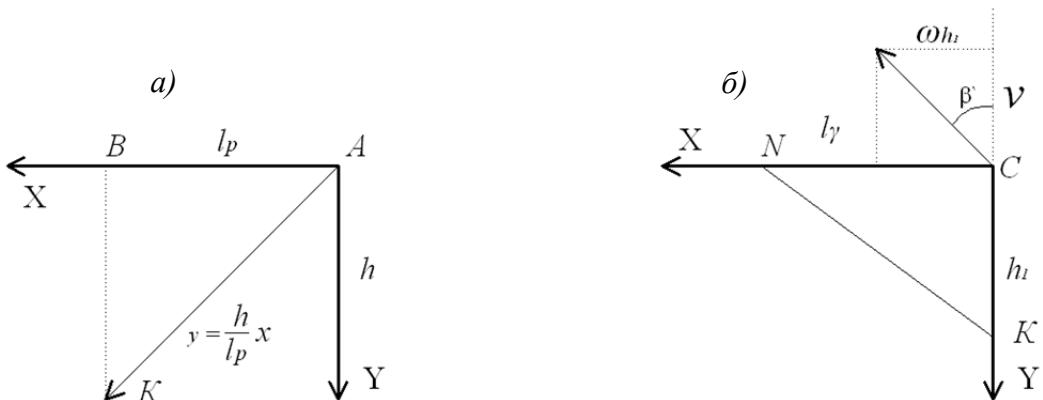


Рисунок 5 – К определению распределения скоростей в блоках, соответственно, типа *B* (а) и *C* (б)

Определим вертикальную составляющую скорости в точке *C*.

Пусть в блоке *C* (рис. 5, б) вертикальная скорость представлена в виде:

$$v = ax + by + v'_0,$$

$$|\bar{v}_c| = \sqrt{(\omega h_1)^2 + (\omega h_1)^2 \operatorname{ctg}^2(\alpha - \beta_1)} = \frac{\omega h_1}{\sin(\alpha - \beta_1)},$$

$$\frac{\omega h_1}{|v'_0|} = \operatorname{tg}(\alpha - \beta_1);$$

$$|v'_0| = \omega h_1 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1);$$

$$v'_0 = -\omega h_1 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1).$$

Вертикальная составляющая скорости в блоке *C* направлена в противоположную сторону по сравнению с силой тяжести:

$$v_z' = -\omega h_1 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1),$$

$$N: al_\gamma + v'_0 = 0 \Rightarrow a = -\frac{v'_0}{l_\gamma},$$

$$K: bh_1 + v'_0 = 0 \Rightarrow b = -\frac{v'_0}{h_1}.$$

Распределение скоростей блока C (см. рис. 5, б):

$$v' = -\frac{v'_0}{l_\gamma}x - \frac{v'_0}{h'}y + v'_0.$$

Мощность внешних объемных сил блока C (см. рис. 4):

$$\begin{aligned} M'_\gamma &= 1 \iint_{\Delta NCK} \gamma v' dx dy = \gamma v'_0 \int_0^{l_\gamma} dx \int_0^{h_1 - x h_1 / l_\gamma} \left(-\frac{x}{l_\gamma} - \frac{y}{h_1} + 1 \right) dy = \\ &= \gamma v'_0 \int_0^{l_\gamma} \left(-\frac{xy}{l_\gamma} - \frac{y^2}{2h_1} + y \right) dx = \\ &= \gamma v'_0 h_1 \left(\frac{l_\gamma}{3} - \frac{h_1}{6} \right) = -\gamma \omega h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1) \left(\frac{l_\gamma}{3} - \frac{h_1}{6} \right). \end{aligned}$$

Верхняя оценка несущей способности P_v определяется из уравнения мощностей внутренних и внешних сил. Для нашего случая уравнение (1) представляется так:

$$M_B + M_C = M_P + M_\gamma + M'_\gamma,$$

где $M_B = \frac{1}{4} C |\bar{v}_B| (1 - \cos \alpha) l_1$ – мощность пластического деформирования блока B ;

$M_C = \frac{1}{4} C |\bar{v}_C| (1 - \cos \alpha) l_2$ – мощность пластического деформирования блока C ;

$M_P = \omega h \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \frac{P l_P}{2}$ – мощность от внешней силы P блока B ;

$M_\gamma = \gamma \omega h \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \frac{h l_P}{6}$ – мощность внешних объемных сил блока B ;

$M'_\gamma = \gamma \omega h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1) \left(\frac{l_\gamma}{3} - \frac{h_1}{6} \right)$ – мощность внешних объемных сил блока C .

Тогда верхняя оценка несущей способности гладкой подпорной стенки находится из уравнения:

$$\begin{aligned} \frac{1}{4} C (1 - \cos \alpha) [v_B l_1 + v_C l_2] &= h \omega \frac{\operatorname{tg}(\alpha - \beta)}{2} \left(P v l_P + \frac{h \gamma l_P}{3} \right) - \\ &- \gamma \omega h_1^2 \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1) \left(\frac{l_\gamma}{3} - \frac{h_1}{6} \right), \end{aligned}$$

а с учетом следующих равенств:

$$v_B = \omega h / \cos(\alpha - \beta), \quad v_C = \frac{\omega h_1}{\sin(\alpha - \beta_1)}, \quad l_1 = \frac{h}{\cos \beta},$$

$$l_2 = \frac{h_1}{\sin \beta_1}, \quad l_P = h \operatorname{tg} \beta, \quad l_\gamma = \frac{h_1}{\operatorname{tg} \beta_1},$$

получаем верхнюю оценку несущей способности гладкой подпорной стенки:

$$\begin{aligned} P_v &= \frac{1}{2h^2} \frac{C(1 - \cos \alpha)}{\operatorname{tg}(\alpha - \beta) \operatorname{tg} \beta} \left[\frac{h^2}{\cos(\alpha - \beta) \cos \beta} + \frac{h_1^2}{\sin(\alpha - \beta_1) \sin \beta_1} \right] + \\ &+ \frac{2\gamma \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1) h_1^3}{3h^2 \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \operatorname{tg} \beta} \left(\frac{1}{\operatorname{tg} \beta_1} - \frac{1}{2} \right) - \frac{\gamma h}{3}. \end{aligned}$$

Условие прочности связного грунта ($C \neq 0$), т.е. условие Кулона-Мора, имеет вид:

$$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{-(\sigma_1 + \sigma_3) + 2c \cdot \operatorname{ctg} \varphi} = \sin \varphi. \quad (3)$$

Примем:

$$A = \frac{1 + \sin \varphi}{1 - \sin \varphi}; \quad C = \frac{2c \cdot \cos \varphi}{1 - \sin \varphi}.$$

Тогда условие запишется в виде:

$$\sigma_3 = -C + A\sigma_1.$$

Статически допустимое поле напряжений – это поле, для которого функция текучести неположительная и удовлетворяются уравнения равновесия:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} &= -\gamma, \\ \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Поле напряжений в блоке B удовлетворяет условию Кулона-Мора и уравнениям равновесия (4), следовательно, это поле напряжений является полем предельного напряженного состояния:

$$\sigma_3 = \sigma_z = -(P + \gamma z),$$

$$\sigma_1 = \sigma_y = -\frac{1}{A}(P + \gamma z - C),$$

$$\tau_{xy} = 0.$$

Тогда активное давление:

$$\sigma_a = -\frac{1}{A}(P + \gamma z - C).$$

Равнодействующая активного давления определяется как площадь трапеции:

$$E_a = -\frac{h}{A} \left(P + \frac{\gamma}{2} h - C \right).$$

Точка приложения равнодействующей E_a будет находиться в центре тяжести площади трапеции, и расстояние h от подошвы стенки до направления действия этой силы:

$$h = \frac{h(-P + C - \gamma h / 3)}{2(-P + C) - \gamma h}.$$

Поле напряжений в блоке C :

$$\sigma_1 = \sigma_z = -\gamma z,$$

$$\sigma_3 = \sigma_y = -C + A(-\gamma z),$$

$$\tau_{xy} = 0.$$

Тогда пассивное давление:

$$\sigma_p = A(-\gamma z) - C.$$

Равнодействующая пассивного давления определяется как площадь треугольной эпюры:

$$E_p = \frac{1}{2} h_1 (A(-\gamma h_1) - C)$$

и будет приложена к стенке на расстоянии $h_1 = \frac{1}{3} h_1$ от ее подошвы.

Нижнюю оценку P_n определим из условия:

$$E_a h_{\text{акт}} = E_p h_{\text{пас}},$$

$$-\frac{h^2 \left(P_n + \frac{\gamma h}{2} - C \right) \left(-P_n + C - \frac{\gamma h}{3} \right)}{2A \left(-P_n + C - \frac{\gamma h}{2} \right)} = -\left(A\gamma h_1 + C \right) \frac{h_1^2}{6}.$$

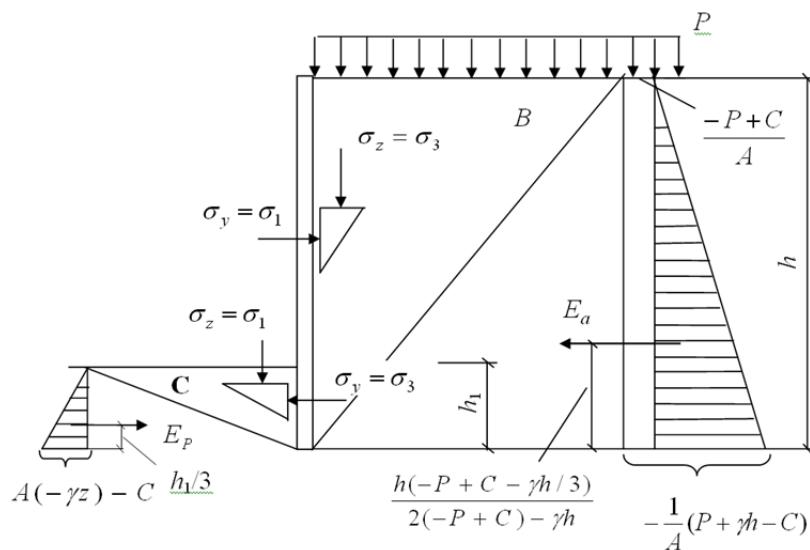


Рисунок 6 – Схема действия сил и эпюра бокового давления сыпучего грунта для гладкой подпорной стенки

Для получения верхней оценки несущей способности системы «стенка – обратная засыпка» для подпорной стенки с шероховатой поверхностью вводим коэффициент трения по стенке. Считаем, что в блоках B и C (рис. 7) соответственно активное и пассивное предельные простейшие напряженные состояния.

Ординаты эпюр активного давления σ_a^{\min} , σ_a^{\max} (рис. 8, а) и ординаты эпюр пассивного давления σ_p^{\min} , σ_p^{\max} (рис. 8, б) вычисляются по методике численного решения задачи определения давления на задней грани подпорной стенки (по теории В.В. Соколовского [2]).

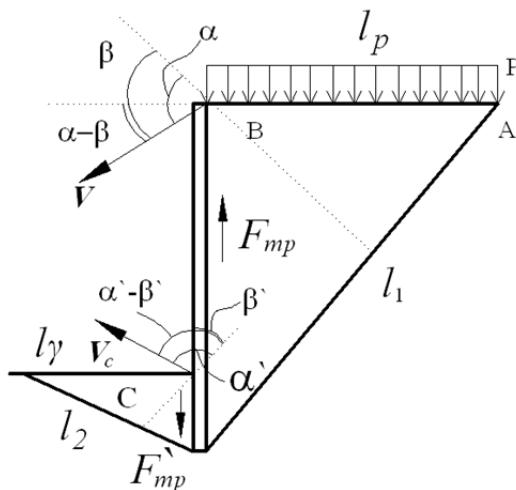


Рисунок 7 – Расчетная схема пластического течения для определения распределения скоростей в блоках B и C , стенка с шероховатой поверхностью

Построив эпюры активного и пассивного давлений, определяем нормальные напряжения на стенке.

Нормальные напряжения на стенке для активного давления:

$$\sigma_n = \sigma_a^{\min} + \frac{x}{h} (\sigma_a^{\max} - \sigma_a^{\min}),$$

касательные напряжения по стенке:

$$\tau = \operatorname{tg} \varphi_{ct} \sigma_n = \operatorname{tg} \varphi_{ct} \left[\sigma_a^{\min} + \frac{x}{h} (\sigma_a^{\max} - \sigma_a^{\min}) \right],$$

скорость частиц грунта относительно стенки:

$$v = \omega \operatorname{tg}(\alpha - \beta)(h - x).$$

Тогда мощность трения грунта о подпорную стенку на метр погонной длины:

$$\begin{aligned} M_{\text{tp}} &= \int_0^h \tau v dx = \int_0^h \operatorname{tg} \varphi_{cm} \left[\sigma_a^{\min} + \frac{x}{h} (\sigma_a^{\max} - \sigma_a^{\min}) \right] \omega \operatorname{tg}(\alpha - \beta)(h - x) dx = \\ &= \omega \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \operatorname{tg} \varphi_{cm} (2\sigma_a^{\min} + \sigma_a^{\max}) \frac{h^2}{6}, \end{aligned}$$

или $M_{\text{tp}} = \omega \operatorname{tg}(\alpha - \beta) \operatorname{tg} \varphi_{cm} (2\sigma_a^{\min} + \sigma_a^{\max}) \frac{h^2}{6}$.

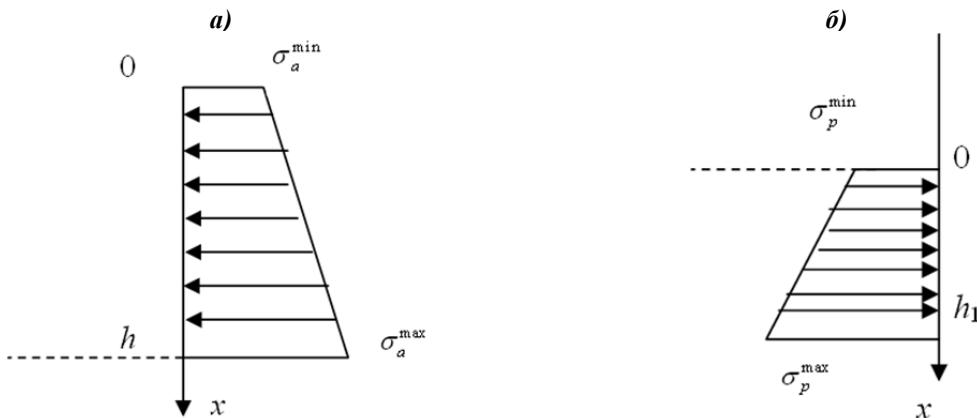


Рисунок 8 – Эпюры активного (а) и пассивного (б) давлений

Аналогично определяем напряжения для пассивного давления (см. рис. 8, б):

– нормальные напряжения на стенке:

$$\sigma'_n = \sigma_p^{\min} + \frac{x}{h_1} (\sigma_p^{\max} - \sigma_p^{\min});$$

– касательные напряжения по стенке:

$$\tau' = \operatorname{tg} \varphi_{ct} \sigma'_n = \operatorname{tg} \varphi_{ct} \left[\sigma_p^{\min} + \frac{x}{h_1} (\sigma_p^{\max} - \sigma_p^{\min}) \right];$$

– скорость частиц грунта относительно стенки:

$$v' = \omega \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1)(h_1 - x),$$

тогда мощность трения грунта о подпорную стенку на метр погонной длины:

$$\begin{aligned} M'_{\text{tp}} &= \int_0^{h_1} \tau' v' dx = \int_0^{h_1} \operatorname{tg} \varphi_{cm} \left[\sigma_p^{\min} + \frac{x}{h_1} (\sigma_p^{\max} - \sigma_p^{\min}) \right] \omega \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1)(h_1 - x) dx = \\ &= \omega \operatorname{ctg}(\alpha - \beta_1) \operatorname{tg} \varphi_{cm} (2\sigma_p^{\min} + \sigma_p^{\max}) \frac{h_1^2}{6}, \end{aligned}$$

или $M'_{\text{tp}} = \omega \operatorname{tg}(\alpha - \beta_1) \operatorname{tg} \varphi_{cm} (2\sigma_p^{\min} + \sigma_p^{\max}) \frac{h_1^2}{6}$.

Подставим полученные мощности трения грунта о подпорную стенку в правую часть уравнения мощностей внутренних и внешних сил и получим формулу определения верхней оценки несущей способности P_v системы «стенка – обратная засыпка» для подпорной стенки с шероховатой поверхностью:

$$M_B + M_C + M_{\text{tp}} + M'_{\text{tp}} = M_P + M_\gamma + M'_\gamma.$$

Окончательно верхнюю оценку несущей способности P_v основания шероховатой подпорной стенки можно записать в виде:

$$P_v = \frac{C(1-\cos\alpha)}{2h^2\tg(\alpha-\beta)\tg\beta} \left[\frac{h^2}{\cos(\alpha-\beta)\cos\beta} + \frac{h_1^2}{\sin(\alpha-\beta_1)\sin\beta_1} \right] + \\ + \frac{\ctg(\alpha-\beta_1)h_1^2}{3h^2\tg(\alpha-\beta)\tg\beta} \cdot \left[\tg\varphi_{cm} (2\sigma_a^{\min} + \sigma_a^{\max}) - \frac{2\gamma}{\tg\beta_1} - 1 \right] + \\ + \frac{\tg\varphi_{cm} (2\sigma_a^{\min} + \sigma_a^{\max})}{3\tg\beta} - \frac{\gamma h}{3}.$$

Нижняя оценка несущей способности P_v для подпорной стенки с шероховатой поверхностью вычисляется с помощью решений, полученных В.В. Соколовским, путем численного интегрирования дифференциальных уравнений теории предельного равновесия по определению активного и пассивного давлений на подпорные стенки. Получаем ординаты эпюры активного давления σ_a^{\min} , σ_a^{\max} и ординаты эпюры пассивного давления σ_p^{\min} , σ_p^{\max} . Построив эпюры активного и пассивного давлений, определяем, соответственно, значения их равнодействующих E_a , E_p . Равнодействующие активного и пассивного давлений определяются как площади эпюр σ_a , σ_p :

$$E_a = \frac{1}{2}h(\sigma_a^{\min} + \sigma_a^{\max}),$$

$$E_p = \frac{1}{2}h_1(\sigma_p^{\min} + \sigma_p^{\max})$$

и будут приложены к стене в зоне активного давления на расстоянии:

$$h = \frac{\sigma^{\min}h\frac{h}{2} + (\sigma^{\max} - \sigma^{\min})\frac{h}{2}\frac{h}{3}}{\sigma^{\min}h + (\sigma^{\max} - \sigma^{\min})\frac{h}{2}} = \frac{\sigma^{\min} + \frac{1}{3}(\sigma^{\max} - \sigma^{\min})}{\sigma^{\max} + \sigma^{\min}}$$

и аналогично для зоны пассивного давления, где $h = h_1$.

Грунт находится в предельном равновесии при условии:

$$E_a h_{\text{акт}} = E_p h_{\text{пас}},$$

откуда определяем нижнюю оценку несущей способности.

Рассмотрим пример расчета для случая горизонтальной поверхности засыпки однородным сыпучим грунтом шероховатой подпорной стенки. По методу теории предельного равновесия В.В. Соколовского ординаты эпюры активного давления вычисляются по формуле:

$$\sigma_a = \bar{q}_0(\gamma z + q),$$

пассивного – по формуле:

$$\sigma_p = \bar{q}'_0(\gamma z + q),$$

где q – интенсивность пригрузки на поверхности засыпки;

\bar{q}_0 и \bar{q}'_0 – безразмерные коэффициенты, определяемые по таблицам 1 и 2 в зависимости от значений угла внутреннего трения грунта φ , угла наклона грани стенки к вертикали ε и угла трения грунта о стенку ω .

Равнодействующие активного и пассивного давлений определяются как площади эпюр σ_a , σ_p :

$$E_a = \frac{1}{2} h \bar{q}_0 (\gamma h + 2q),$$

$$E_p = \frac{1}{2} h_1 \bar{q}'_0 (\gamma h_1 + 2q)$$

и будут приложены к стене в зоне активного давления на расстоянии:

$$h = \bar{q}_0 \frac{q + \frac{\gamma h}{3}}{2q + \gamma h},$$

аналогично для зоны пассивного давления, где $h = h_1$, $h_1 = \bar{q}'_0 \frac{q + \frac{\gamma h_1}{3}}{2q + \gamma h_1}$.

Таблица 1 – Значения коэффициентов \bar{q}_0 для определения активного давления

E	$\phi = 10^\circ$			$\phi = 20^\circ$			$\phi = 30^\circ$		
	при ω , град.								
	0	5	10	0	10	20	0	15	30
0	0,7	0,67	0,65	0,49	0,45	0,44	0,33	0,30	0,27

Таблица 2 – Значения коэффициентов \bar{q}'_0 для определения пассивного давления

$\epsilon \epsilon$	$\phi = 10^\circ$			$\phi = 20^\circ$			$\phi = 30^\circ$		
	при ω , град.								
	0	5	10	0	10	20	0	15	30
00	1,42	1,56	1,66	2,04	2,35	2,55	3,04	4,50	5,90

Грунт находится в предельном равновесии при условии

$$E_a h_{\text{акт}} = E_p h_{\text{пас}},$$

$$\frac{1}{2} \bar{q}_0^2 h (\gamma h + 2q) \frac{q + \frac{\gamma h}{3}}{2q + \gamma h} = \frac{1}{6} h^3 \bar{q}'_0 \gamma,$$

где зона пассивного давления не загружена пригрузкой.

Откуда определяем нижнюю оценку несущей способности $P_n = q$.

Выводы

Представлен расчет по абсолютному предельному состоянию (Ultimate Limit State) для тонких заглубленных стен (стальных, железобетонных, деревянных), удерживаемых пассивным отпором грунта. После нахождения нижней оценки предельного давления на подпорную стенку следует проверить, не превышают ли изгибающие моменты в стенке предельно допустимых моментов. Если превышают, то оценки несущей способности нужно определять по другой схеме разрушения. Следовательно, предельный анализ применим и к другим типам подпорных стен (гравитационные, композитные), в том числе и к удерживаемым анкерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Гвоздев, А.А. Определение величины разрушающей нагрузки для систем, претерпевающих пластические деформации // Труды конференции по пластическим деформациям. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. – С. 19-30.
- Соколовский, В.В. Статика сыпучей среды / В.В. Соколовский. 3-е изд. М.: Гостехиздат, 1960. – 243 с.

Булгаков Алексей Григорьевич

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Доктор технических наук, профессор, проректор

Тел.: +7 (4712) 50-48-18

E-mail: a.bulgakow@gmx.de

Дыба Владимир Петрович

Южно-Российский государственный политехнический университет им. Атамана М.И. Платова

Доктор технических наук, профессор кафедры «Промышленно-гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»

Тел.: +7 863 525 55 68

E-mail: vladimir.dyba@mail.ru

Скибин Геннадий Михайлович

Южно-Российский государственный политехнический университет им. Атамана М.И. Платова

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленно-гражданское строительство, геотехника и фундаментостроение»

Тел.: +7 863 525 55 68

E-mail: g.m.skibin@yandex.ru

A. BULGAKOV, V. DYBA, G. SKIBIN

**STRUCTURAL ANALYSIS OF RETAINING WALLS
OF ENGINEERING STRUCTURES**

This article presents the results of theoretical studies on the solution of the problem of stability of retaining wall engineering using plastic limit analysis systems. Presented a method of calculating bearing capacity based on analytical solutions to determine the upper and lower bounds of the bearing capacity of soils.

Keywords: method of limit analysis; structural analysis; retaining walls; engineering structures.

BIBLIOGRAPHY

1. Gvozdev, A.A. Opredelenie velichiny razrushajushhej nagruzki dlja sistem, preterpevajushhih plasticheskie deformacii // Trudy konferencii po plasticheskim deformacijam. M.; L.: Izd-vo AN SSSR, 1938. – S. 19-30.
2. Sokolovskij, V.V. Statika sypuchej sredy / V.V. Sokolovskij. 3-e izd. M.: Gostehizdat, 1960. – 243 s.

A. Bulgakov

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical sciences, professor, pro-rector

Ph.: +7 (4712) 50-48-18

E-mail: a.bulgakow@gmx.de

V. Dyba

South-Russian state technical university, Novocherkassk

Doctor of technical sciences, professor of the department «Industrial and civil construction»

Ph.: +7 863 525 55 68

E-mail: vladimir.dyba@mail.ru

G. Skibin

South-Russian state technical university, Novocherkassk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Industrial and civil construction»

Ph: +7 7 863 525 55 68

E-mail: g.m.skibin@yandex.ru

ДОВБЕНКО В.С.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК, УСИЛЕННЫХ ПОЛИМЕРНОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ

Приведены результаты экспериментальных исследований несущей способности, деформативности и трещиностойкости контрольных и усиленных железобетонных балок при статических нагрузках. Показан способ усиления железобетонных конструкций зданий и сооружений полимерной композицией проникающего действия.

Ключевые слова: железобетонная балка; полимерная композиция; усиление; несущая способность; деформативность; трещиностойкость.

В настоящее время остро стоит вопрос о восстановлении и усилении конструкций зданий и сооружений, значительная часть которых выполнена из железобетона. Эта проблема связана с тем, что многие здания и сооружения были построены еще в прошлом веке и в настоящие времена уже не отвечают современным требованиям. Основными причинами их разрушения являются длительная эксплуатация, потеря прочности при различных видах нагрузок, коррозия арматуры, механические повреждения и дефекты, воздействие агрессивных факторов окружающей среды, природные катаклизмы и прочие.

Конструкции зданий и сооружений, которые исчерпали нормативный срок службы или на грани, нуждаются в усилении и восстановлении. Для устранения данной проблемы в этом направлении разработаны новые и эффективные технологии [1].

С целью восстановления технических эксплуатационных характеристик зданий и сооружений необходимо проводить их ремонт и усиление, безусловно, с учетом экономической целесообразности.

В последнее время создана технология усиления железобетонных конструкций и сооружений с использованием ряда специально разработанных полимерных материалов. Эта технология позволяет комплексно решить практически все вопросы, возникающие при восстановлении конструкций и сооружений, а также обеспечить их длительную работоспособность при эксплуатации. Новизна технологии проникающего действия заключается в возможности быстрого усиления бетонных и железобетонных конструкций полимерной композицией без нарушения статики конструкций [2].

В лаборатории кафедры промышленного, гражданского строительства и инженерных сооружений Национального университета водного хозяйства и природопользования были проведены экспериментальные исследования железобетонных балок, усиленных полимерной композицией. В процессе выполнения исследований были изготовлены железобетонные балки прямоугольного поперечного сечения 100×180 мм и длиной 2000 мм. Вместе с балками одновременно изготовлены контрольные призмы и кубы из бетона заводского замеса класса С 25/30. Балки были армированы одним плоским сварным каркасом (в зоне чистого изгиба верхние монтажные и поперечные стержни не устанавливали). В продольном направлении использовали стержни серповидного профиля диаметром 16 мм из стали класса А 500С. В качестве поперечной арматуры использовали стержни диаметром 6 мм класса А 240С с шагом 80 мм (рис. 1).

Экспериментальные исследования заключались в испытании контрольных железобетонных балок (БК) и балок, усиленных полимерной композицией (БУ).

Опытные образцы испытывали по схеме свободно лежащей балки на двух опорах (расчетный пролет 1800 мм), загруженных двумя сосредоточенными нагрузками, симметрично расположенные по отношению к середине пролета на расстоянии 600 мм от опор. Испытания балок производили на специально изготовленной установке. Установка для испытаний представляет собой металлическую конструкцию, обеспечивающую стабильность внешней нагрузки.

ки, которая передавалась из гидравлического домкрата на траверсу и контролировалось по показателям кольцевого динамометра (рис. 2).

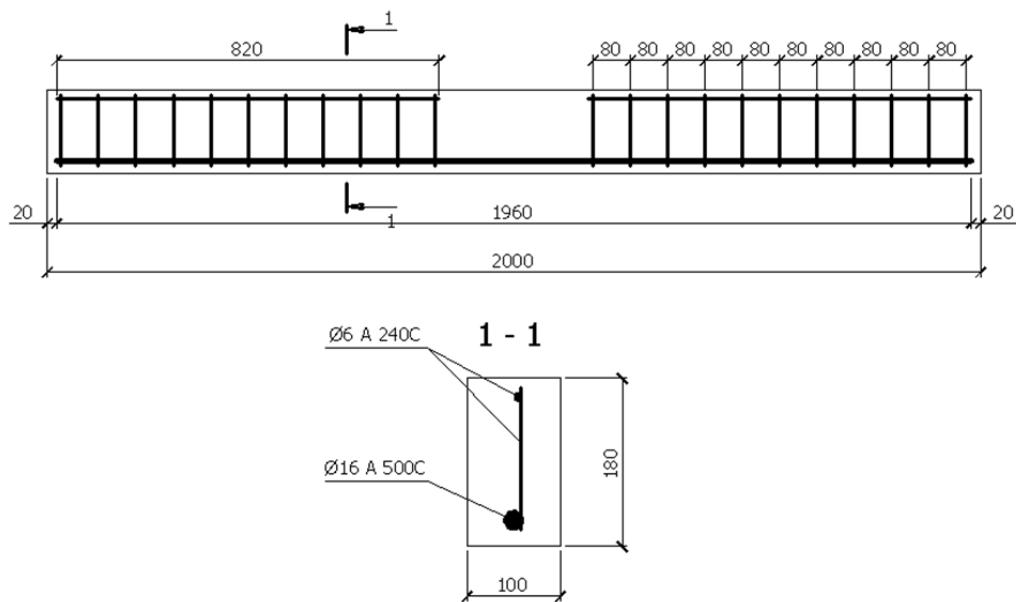


Рисунок 1 – Схема армирования опытных балок



Рисунок 2 – Установка для испытаний железобетонных балок

Все балки загружали ступенями по 10% от разрушающей нагрузки до самого разрушения. На каждой ступени загружения выдержка длилась 10...15 мин. Во время выдержки сни- мали показания по приборам, выполняли визуальный осмотр образцов, тщательно измеряли ширину раскрытия нормальных трещин на уровне центра тяжести продольной арматуры.

Деформации бетона и арматуры измеряли тензорезисторами с базой 50 и 20 мм, которые подключали к многоканальной тензометрической измерительной системе ВНП-8. Опытные прогибы балок и вертикальное перемещение опор измеряли прогибомером 6ПАО с ценой деления шкалы 0,01 мм. Ширину раскрытия трещин измеряли микроскопом МПБ-3 с ценой

деления шкалы 0,02 мм.

В качестве усиления использовали полимерную композицию, которая относится к группе материалов проникающего действия. Данная композиция является модификацией полимерных композиций на основе полизиоцианатов. Полимерная композиция представляет собой одно- или двухкомпонентную низковязкую жидкость, которая по внешнему виду напоминает керосин [3]. Основным компонентом состава композиции является специальный мономер – полизиоцианат, который после полимеризации превращается в полимер, твердение которого происходит под действием катионов солей и основ, которые всегда присутствуют в структуре бетона. Жидкий мономер превращается в твердый полимер, плотно заполняя все поры и дефекты бетона.

Полимерная композиция пропитывает бетон и в процессе полимеризации твердый полимер выполняет функцию дисперсного армирования [4]. Она способствует улучшению качества бетона, повышая его прочность, деформативность и трещиностойкость.

Для железобетонных конструкций особый интерес представляет способность пропитывать продукты коррозии металла и в дальнейшем предотвращать возможность ее возникновения. Твердый полимер это экологически безопасный, нетоксичный и негорючий продукт.

В процессе экспериментальных исследований проводили испытания основных образцов (железобетонных балок) и вспомогательных (бетонных кубов и призм). Вспомогательные образцы предназначались для получения прочностных и деформационных характеристик бетона, в частности, f_{cm} , E_c и полной диаграммы бетона « $\sigma_c - \varepsilon_c$ ».

Усиления опытных образцов полимерной композицией выполняли до начала проведения испытаний. Поверхность бетона должна иметь открытую капиллярную структуру для проникновения полимерного материала, следовательно, до начала нанесения композиции из всех граней опытных образцов было снято «цементное молочко», чтобы поверхность приобрела шероховатость. Далее послойно с помощью кисти наносили полимерную композицию, по мере ее проникновения, через каждые 10...15 минут до полного насыщения поверхностных слоев всех граней (всего 3-4 слоя). Признаком насыщения бетона являлось образование на нем глянцевой поверхности темно-коричневого цвета.

Определение прочности и деформативности контрольного и усиленного бетона при действии кратковременных статических нагрузок выполняли на вспомогательных образцах разрушающим способом. В возрасте 28 суток кубиковая прочность контрольного бетона составила $f_{cm, cube} = 31,3$ МПа, а бетона усиленного композицией – $f_{cm, cube,p} = 35,9$ МПа. Испытание призм определило следующие характеристики: для контрольного бетона призменная прочность $f_{cm, prism} = 23,6$ МПа, модуль упругости $E_{cm} = 21,7$ ГПа, деформации бетона $\varepsilon_c = 213,9 \times 10^{-5}$, для усиленного бетона – $f_{cm, prism,p} = 25,8$ МПа, $E_{cm,p} = 33,0$ ГПа, $\varepsilon_{c,p} = 192,4 \times 10^{-5}$. Характеристики прочности и деформативности вспомогательных образцов приведены в таблице 1.

До начала испытаний опытных балок, установленных на испытательную установку, не было выявлено начальных дефектов (технологических, усадочных трещин, отслоений защитного слоя, отколов бетона). Для более контрастного проявления и обнаружения трещин на поверхности перед испытанием был нанесен слабый раствор извести.

Таблица 1 – Характеристика прочности и деформативности вспомогательных образцов

Бетон	Кубиковая прочность бетона, $f_{cm, cube}$, МПа	Призменная прочность бетона, $f_{cm, prism}$, МПа	Деформации бетона при сжатии, $\varepsilon_c \times 10^{-5}$	Модуль упругости бетона, E_{cm} , ГПа	Коэффициент вариации бетона, V_{cm} , %
Контрольный	31,3	23,6	213,9	21,7	6,5
Усиленный	35,9	25,8	192,4	33,0	5,4

Испытания опытных образцов были выполнены в два этапа. На первом этапе были испытаны контрольные балки для определения параметров их деформативности, трещиностойкости.

кости и несущей способности, на втором этапе – усиленные балки.

Разрушение контрольных балок происходило по нормальным сечениям в зоне чистого изгиба вследствие текучести нижней продольной растянутой арматуры. Средняя разрушающая нагрузка по результатам испытаний контрольных балок-близнецов составила 49,8 кН (изгибающий момент 14,9 кН·м).

По истечению 10 суток хранения при комнатной температуре усиленные балки подвергались воздействию кратковременных статических нагрузок, а также загружались до разрушения. Разрушение усиленных балок также произошло по нормальному сечению, но при нагрузке 54,0 кН (момент 16,2 кН·м) вследствие текучести рабочей арматуры в растянутой зоне в середине пролета. Разрушение балок изображено на (рис. 3).

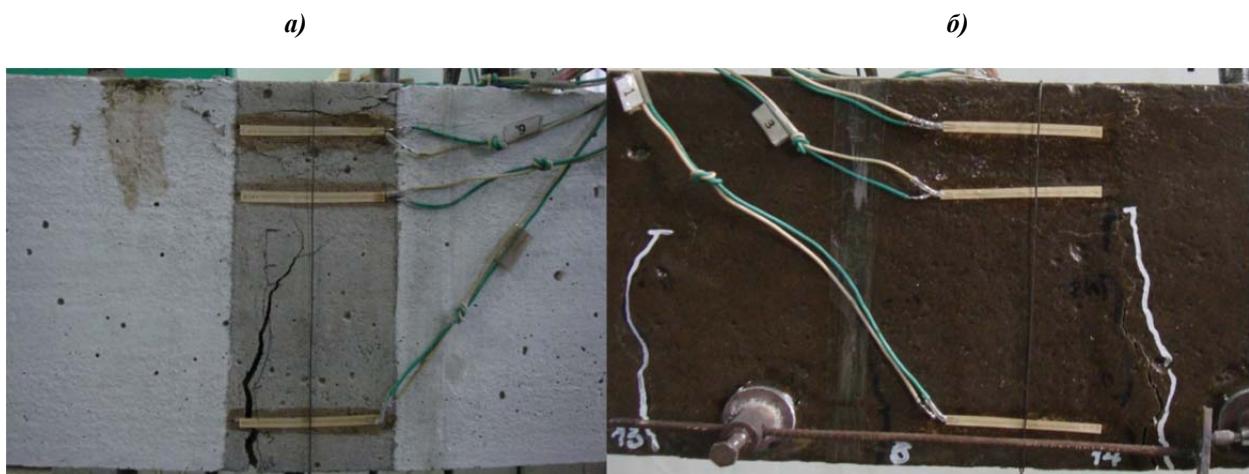


Рисунок 3 – Разрушение железобетонных балок: а – контрольных; б – усиленных

Деформации крайних волокон сжатой зоны контрольного бетона балок (БК) были выше на каждой ступени загружения, чем деформации усиленного бетона (БУ). Так, максимальные деформации бетона балок (БК) составили $255,4 \times 10^{-5}$, а максимальные деформации бетона балок БУ – $226,4 \times 10^{-5}$ (табл. 2).

Таблица 2 – Результаты испытаний железобетонных балок

Балки	Разрушающая нагрузка, кН	Изгибающий момент, кН·м	Деформации		Прогиб в середине пролета, мм	Момент появления первых трещин, кН·м	Максимальная ширина раскрытия трещин, мм
			бетона $\varepsilon_c \times 10^{-5}$	арматуры $\varepsilon_s \times 10^{-5}$			
БК	49,8	14,9	255,4	343,5	13,7	3,0	0,64
БУ	54,0	16,2	226,4	371,6	10,8	4,5	0,46

Следует обратить внимание на тот факт, что деформации бетона балок (БК) – $255,4 \times 10^{-5}$ зафиксированы при нагрузке 49,8 кН (разрушающая для балок БК), при этой нагрузке деформации бетона балок (БУ) составляли всего $197,4 \times 10^{-5}$. Необходимо отметить, что усиление балок полимерной композицией существенно повлияло на характер развития деформаций крайнего сжатого волокна бетона, но практически не повлияло на развитие деформаций в растянутой арматуре (рис. 4).

В контрольных балках (БК) первые нормальные трещины возникали при нагрузке 10,0 кН (изгибающий момент 3,0 кН·м), ширина их раскрытия составляла 0,02...0,08 мм. С увеличением нагрузки количество, ширина раскрытия и высота распространения трещин увеличивалась. В усиленных балках (БУ) такая же ширина раскрытия нормальных трещин зафик-

сирована на ступень выше при нагрузке 15,0 кН (изгибающий момент 4,5 кН·м). Перед разрушением контрольных балок БК максимальная ширина раскрытия трещин составляла 0,64 мм, а усиленных балок (БУ) – 0,46 мм, что на 28% меньше по сравнению с балками (БК). Усиление балок полимерной композицией замедлило процесс трещинообразования (рис. 5).

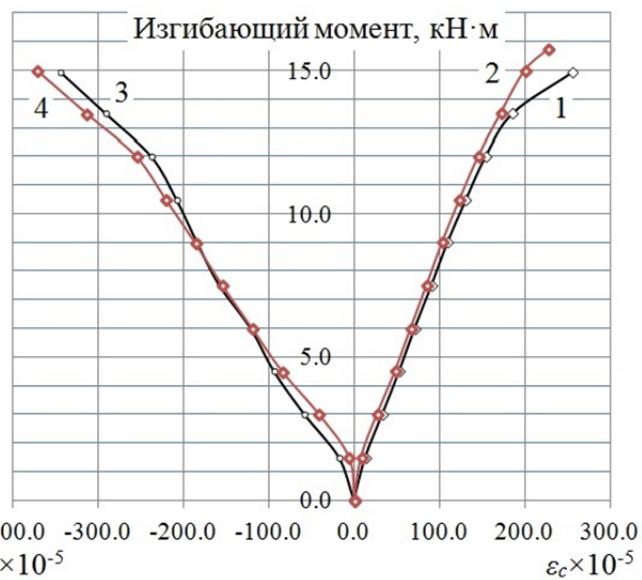


Рисунок 4 – График деформирования бетона и арматуры:
1 – деформации бетона балок (БК); 2 – деформации бетона балок (БУ);
3 – деформации арматуры балок (БК); 4 – деформации арматуры балок (БУ)

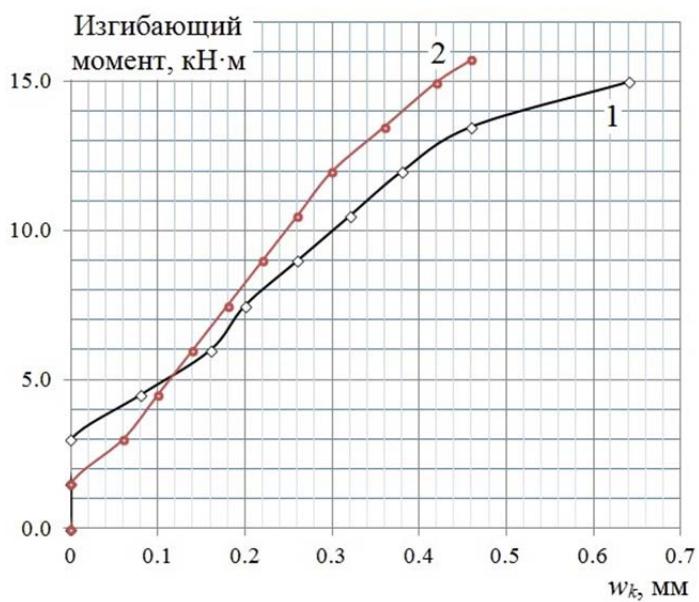


Рисунок 5 – График трещинообразования опытных балок: 1 – (БК); 2 – (БУ)

Из графика (рис. 5) видно, что для всех балок максимальная ширина раскрытия трещин значительно отличается от усиленных.

Применение полимерной композиции существенно повысило жесткость балок. Средний максимальный прогиб контрольных балок (БК) в середине пролета составил 13,7 мм. Максимальный прогиб усиленных балок (БУ) составил 10,8 мм, что на 21,2% меньше, чем в контрольных балках (БК). В усиленных балках (БУ) прогибы на всех ступенях нагрузки были меньше, чем у балок без усиления (рис. 6).

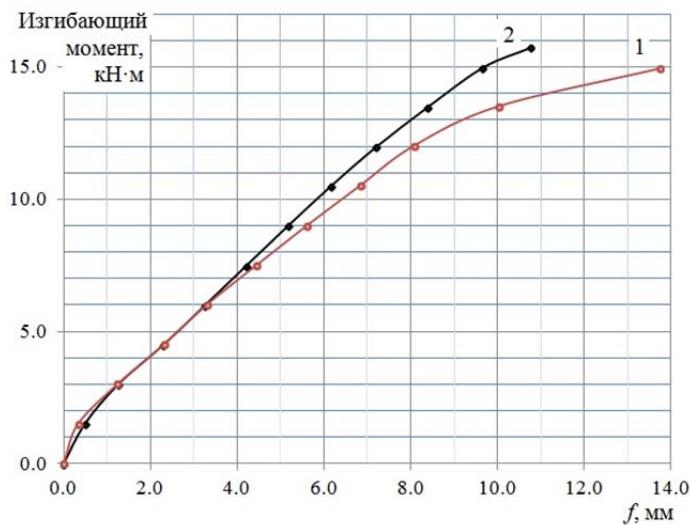


Рисунок 6 – График прогибов опытных балок: 1 – (БК); 2 – (БУ)

Результаты экспериментальных исследований показали, что усиление железобетонных балок полимерной композицией увеличивает несущую способность, трещиностойкость и снижает деформативность при действии статических нагрузок.

Несущая способность усиленных железобетонных балок возрастает незначительно на 8%, но существенно увеличивается жесткость и трещиностойкость по сравнению с балками без усиления. Прогибы усиленных балок уменьшаются на 10 ... 19% по сравнению с контрольными балками.

Момент образования первых трещин отдаляется более чем на 33%, а ширина их раскрытия уменьшается на 28% по сравнению с контрольными, что позволяет улучшить эксплуатационные характеристики конструкций в агрессивной среде.

Усиление конструкций полимерной композицией может найти применение, в первую очередь, учитывая простоту и относительно невысокую стоимость.

Полученные результаты экспериментальных исследований [5, 6, 7] позволяют рекомендовать полимерную композицию для усиления, восстановления и ремонта железобетонных элементов зданий и сооружений.

Дальнейшие опыты будут направлены на исследования усиленных железобетонных балок при воздействии длительных статических нагрузок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Веселовский, Д.Р. Основные принципы создания мономеров для пропитки бетона [Текст] / Д.Р. Веселовский, Н.В. Савицкий, Р.А. Веселовский // Строительство. Материаловедение. Машиностроение: Сб. научн. трудов. – Днепропетровск: ПГАСА, 2005. – Вып. 35, ч.1. – С. 105-108.
2. Научно-инженерный центр «Адгезив» [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.adgeziv.com>. Дата обращения 15.12.2013.
3. Технические условия. Полимерная композиция [Текст]: ТУ 4.1-19478158-001-2004 Украина: ДКПП 24.16.40.900/ УКНД 71.100.99/ Р.А. Веселовский; 01.04.2004.
4. Баженов, Ю.М. Бетонополимеры [Текст] / Ю.М. Баженов. – М.: Стройиздат, 1983. – 472 с.
5. Бабич, Е.М. Влияние полимерной композиции на прочность, деформативность и трещиностойкость железобетонных балок при действии статических нагрузок [Текст] / Е.М. Бабич, В.С. Довбенко // Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения: Сб. науч. трудов. – Ровно: Издательство НУВХП, 2009. – Вып. 18. – С. 442-448.
6. Довбенко, В.С. Исследование работы железобетонных балок, усиленных полимерной композицией при действии малоцикловых нагрузок [Текст] / В.С. Довбенко // Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения: Сб. науч. трудов. – Ровно: Издательство НУВХП, 2011. – Вып. 22. – С. 787-794.
7. Довбенко, В.С. Особенности структуры и свойств бетона, пропитанного полимерной композицией проникающего действия [Текст] / В.С. Довбенко // Ресурсосберегающие материалы, конструкции, здания и сооружения: Сб. науч. трудов. – Ровно: Издательство НУВХП, 2012. – Вып. 23. – С. 57-62.

Довбенко Владимир Сергеевич

Национальный университет водного хозяйства и природопользования, г. Ровно, Украина
Старший преподаватель
Тел.: +38 (097) 654-43-56
E-mail: dovbenko.v.s@gmail.com

V. DOVBENKO

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF CONCRETE BEAMS REINFORCED WITH POLYMER COMPOSITION

There are presented results of experimental researches of carrying capacity, of deformation property and of fracture strength of control and reinforced concrete beams by static loads. There are showing a way of reinforcing of concrete structures of buildings and constructions due to polymer compound of penetrating activity.

Keywords: concrete beam; polymer compound; reinforcing; carrying capacity; deformation property; fracture strength.

BIBLIOGRAPHY

1. Veselovskij, D.R. Osnovnye principy sozdanija monomerov dlja propitki betona [Tekst] / D.R. Veselovskij, N.V. Savic'kij, R.A. Veselovskij // Stroitel'stvo. Materialovedenie. Mashinostroenie: Sb. nauchn. trudov. – Dnepropetrovsk: PGASA, 2005. – Vyp. 35, ch.1. – S. 105-108.
2. Nauchno-inzhenernyj centr «Adgeziv» [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <http://www.adgeziv.com>. Data obrashhenija 15.12.2013.
3. Tehnicheskie uslovija. Polimernaja kompozicija [Tekst]: TU 4.1-19478158-001-2004 Ukrayny: DKPP 24.16.40.900/ UKND 71.100.99/ R.A. Veselovskij; 01.04.2004.
4. Bazhenov, Ju.M. Betonopolimery [Tekst] / Ju.M.Bazhenov. – M.: Strojizdat, 1983. – 472 s.
5. Babich, E.M. Vlijanie polimernoj kompozicii na prochnost', deformativnost' i treshhinostojkost' zhelezobetonyh balok pri dejstvii staticheskikh nagruzok [Tekst] / E.M. Babich, V.S. Dovbenko // Resursosberegajushchie materialy, konstrukcii, zdaniya i sooruzhenija: Sb. nauch. trudov. – Rovno: Izdatel'stvo NUVHP, 2009. – Vyp. 18. – S. 442-448.
6. Dovbenko, V.S. Issledovanie raboty zhelezobetonnyh balok, usilennyh polimernoj kompoziciej pri dejstvii malociklovyh nagruzok [Tekst] / V.S. Dovbenko // Resursosberegajushchie materialy, konstrukcii, zdaniya i sooruzhenija: Sb. nauch. trudov. – Rovno: Izdatel'stvo NUVHP, 2011. – Vyp. 22. – S. 787-794.
7. Dovbenko, V.S. Osobennosti struktury i svojstv betona, propitannogo polimernoj kompoziciej pronikajushhego dejstvija [Tekst] / V.S. Dovbenko // Resursosberegajushchie materialy, konstrukcii, zdaniya i sooruzhenija: Sb. nauch. trudov. – Rovno: Izdatel'stvo NUVHP, 2012. – Vyp. 23. – S. 57-62.

V. Dovbenko

National university of water management and nature resources use, Rivne, Ukraine

Senior lecturer

Ph.: +38 (097) 654-43-56

E-mail: dovbenko.v.s@gmail.com

О РАБОТЕ ОБЛИЦОВОЧНОГО КАМЕННОГО СЛОЯ КАРКАСНЫХ ЗДАНИЙ ПРИ СИЛОВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Рассмотрены вопросы работы наружного лицевого кирпичного слоя слоистых стен зданий с монолитным железобетонным каркасом. Проанализированы напряженно-деформированные состояния лицевого слоя, вызванные силовыми воздействиями. Приведен краткий анализ существующих методов расчета облицовочного слоя.

Ключевые слова: каркасно-монолитные дома; лицевой кирпичный слой; слоистая кладка; ремонт.

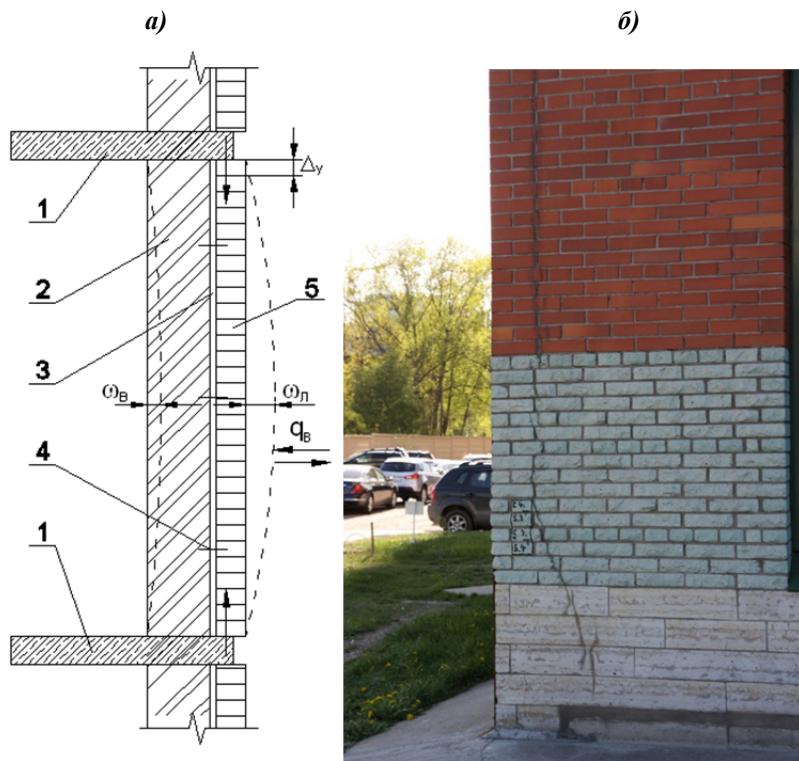
Наружное стеновое ограждение каркасных зданий обычно выполняется в виде слоистой кладки с защитно-декоративной облицовкой из кирпича и внутренним слоем из газосиликатных или пенобетонных блоков, либо щелевых керамических камней, которыми заполняется пространство между монолитными плитами перекрытий и колоннами или поперечными железобетонными стенами. В отечественной практике кирпичный облицовочный слой, как правило, опирается на междуэтажные железобетонные перекрытия, а его крепление к внутреннему слою осуществляется с помощью гибких анкеров. Его основным назначением является защита несущего каркаса здания, внутреннего каменного слоя и утеплителя от внешних климатических воздействий. Дефектность облицовочного слоя в процессе эксплуатации в виде трещин и выкрашивания кладки обычно связывают с его температурными деформациями либо размораживанием [1, 2]. В практике, однако, несмотря на незначительный собственный вес, повреждения лицевого слоя могут быть связаны с силовыми воздействиями. Последние главным образом связаны с действием ветровых нагрузок и вынужденных деформаций, обусловленных перемещениями несущего каркаса здания.

Величина внутренних усилий в облицовке от указанных воздействий в значительной мере зависит от способа сопряжения кирпичного облицовочного слоя с дисками перекрытий. При наличии горизонтального деформационного шва между верхним диском перекрытия и облицовочным слоем в последнем возникают сжимающие усилия от действий собственного веса и изгибающие моменты из вертикальной плоскости, вызванные действием ветровой нагрузки. При этом роль опор играют нижний диск перекрытия и анкерные связи. При отсутствии горизонтальных деформационных швов лицевой слой оказывается защемлённым между дисками перекрытия. В этом случае в нём могут возникать сжимающие усилия, вызванные вертикальными осадками несущего железобетонного каркаса здания. Последние связаны с упругими деформациями от собственного веса здания и деформациями ползучести бетона.

В случае наиболее часто применяемого внецентренного опирания лицевого слоя на торцы дисков перекрытий в нём кроме сжимающих усилий возникают изгибающие моменты (рис. 1, *a*). Наибольшие вертикальные деформации Δu каркаса здания имеют место на нижних этажах. Как показывает опыт эксплуатации, именно в этих зонах облицовочный кирпичный слой чаще всего подвержен разрушению в виде раздробления кирпичной кладки в местах контакта с дисками перекрытий и выпучиванию из вертикальной плоскости с образованием вертикальных трещин в угловых зонах (рис. 1, *b*).

Что касается ветровой нагрузки q_v , то её максимальные значения обычно имеют место в угловых зонах здания и на его верхних этажах. Следует отметить, что горизонтальные деформации (перемещения) облицовочного слоя от его внецентренного загружения сдерживаются гибкими акерными связями. Последние, однако, не являются неподвижными опорами, а обладают податливостью в горизонтальном направлении. Это обусловлено деформативностью анкеровки в лицевом и внутреннем слое, а также податливостью последнего при восприятии горизонтальных растягивающих усилий от анкеров, в связи с чем $\omega_l > \omega_b$. Следует

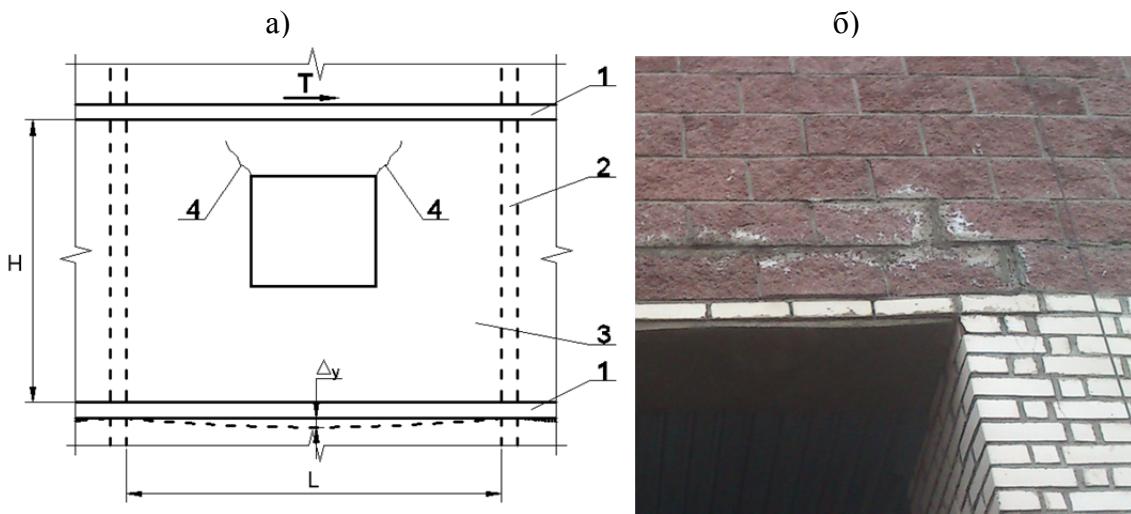
отметить, что включение в совместную работу с лицевым слоем внутреннего слоя, выполненного из менее прочной теплоизоляционной кладки, является одной из причин наблюдаемого в нём образования трещин.



*Рисунок 1 – Схема работы защемлённого междудо дисками перекрытий лицевого каменного слоя (а) и его выпучивание из плоскости при внецентренном заграждении (б):
 1 – диски перекрытий; 2 – внутренний каменный слой; 3 – воздушный зазор;
 4 – гибкие анкера; 5 – каменный лицевой слой*

Облицовочный слой, расположенный на торцевых участках дисков перекрытий, может также работать на изгиб в вертикальной плоскости. В период возведения облицовки из-за деформативности свежих растворных швов её давление на перекрытие является равномерно распределённым. После набора прочности растворными швами облицовочный слой становится чувствительным к прогибам перекрытий, вызванным реологическими процессами в бетоне, а также действием полезных нагрузок. В результате между облицовкой и перекрытием образуется зазор, максимальное значение которого Δ_y имеет место в середине пролёта плиты перекрытия (рис. 2, а). В результате перераспределения контактного давления облицовка работает как балка-стенка под действием собственного веса. Следует отметить, что аналогично работает и внутренний каменный слой стены. При этом последний (как более деформативный) будет частично передавать нагрузку от собственного веса на облицовочный слой через гибкие анкера. Степень додружения лицевого слоя внутренним будет тем больше, чем меньше толщина воздушного зазора, когда гибкие анкера способны воспринимать значительные сдвиговые усилия.

Кроме вышеперечисленных воздействий лицевой слой может также воспринимать сдвигающие усилия в своей плоскости, вызванные горизонтальными перемещениями каркаса здания, например, от ветровой нагрузки, либо неравномерными осадками фундаментов [3]. Способность сопротивляться горизонтальным сдвиговым усилиям T (рис. 2, а) в наибольшей степени проявляется в случае отсутствия горизонтальных деформационных швов между облицовочным слоем и верхним диском перекрытия. Сдвиговые деформации лицевого слоя приводят к его перекосам, что может вызвать появление в нем диагональных трещин [3].



**Рисунок 2 – Схема работы облицовочного слоя в его плоскости (а)
с образованием косых трещин (б): 1 – диски перекрытий; 2 – внутренние поперечные стены;
3 – облицовочный кирпичный слой с оконными проёмами; 4 – трещины**

Таким образом, в реальных условиях эксплуатации облицовочный кирпичный слой может работать в условиях сложного напряжённого состояния в своей плоскости и изгиба перпендикулярно вертикальной плоскости. В последнем случае лицевой слой следует рассматривать как плиту, опёртую на дисках перекрытий, внутренние поперечные стены и податливые промежуточные опоры в виде анкерных стержней (см. рис. 2, а). Совершенно очевидно, что в общем случае напряжённо-деформированное состояние работающего лицевого слоя может быть определено только численными методами, например, методом конечных элементов. Учитывая возможности современного отечественного и зарубежного программного обеспечения определения напряжённо-деформационного состояния на сегодняшний день не представляет технических сложностей. Проблемой является выбор критериальных оценок при проверках лицевого слоя по первому и второму предельным состояниям. В действующих нормативных документах последние чаще всего относятся к одноосным напряжённым состояниям. В тоже время отсутствуют критерии прочности для плоских видов напряжённого состояния. Приведённый в нормах [4] критерий расчёта каменных стен по главным растягивающим напряжениям не учитывает анизотропию прочности каменной кладки. Более сложные критерии, отражающие этот фактор, пока не нашли должного отражения в нормативной литературе [5, 6]. Поэтому как в отечественных [4], так и в зарубежных нормах, например, Еврокодах [7], проверки прочности каменной кладки в условиях сложного напряжённого состояния сводятся к проверке одноосных напряжённых состояний: растяжения, сдвига, сжатия. При изгибе кладки перпендикулярно её плоскости условие прочности в соответствии с [7] записываются в виде:

$$M_{ed} \leq M_{rd}, \quad (1)$$

где в случае изгиба параллельно горизонтальным растворным швам:

$$M_{ed1} = \alpha_1 W_{ed} l^2, \quad (2)$$

в случае изгиба перпендикулярно горизонтальным растворным швам:

$$M_{ed2} = \alpha_2 W_{ed} l^2, \quad (3)$$

здесь l – расчётная длина стены; W_{ed} – нагрузка на единицу длины, действующая перпендикулярно плоскости стены, α_1, α_2 – коэффициенты, зависящие от соотношения высоты к длине стены.

Несущая способность кладки при изгибе из плоскости определяется из выражения:

$$M_{rd} = f_{xd} Z, \quad (4)$$

где f_x – прочность складки при изгибе из плоскости по перевязанному (f_{x1}), либо по не перевязанному (f_{x2}) сечением; Z – коэффициент прочности сечения кладки вдоль либо поперёк горизонтальных растворных швов.

Применение формул 1-4 для расчёта на изгиб облицовочного слоя с податливыми опорами в виде гибких анкеров требуют уточнения коэффициентов α_1 , α_2 и Z , что может быть достигнуто расчётным, либо экспериментальным путём. Как уже отмечалось, значение изгибающих моментов M_{ed1} , M_{ed2} может быть определено методом конечных элементов [8].

Следует отметить, что как в отечественных, так и в зарубежных нормах отсутствует методика расчёта каменной облицовки каркасных зданий как самостоятельной конструкции. Отсутствуют также данные о расчётной схеме облицовки, её совместной работе с внутренним слоем из каменной кладки, влиянии оконных и дверных проёмов, влиянии армирования и т.д. В тоже время приводятся отдельные указания относительно обеспечения требований второго предельного состояния: ширины раскрытия трещин и выгибов из плоскости, предельные значения которых не должны превышать 1/500 от высоты этажа; предельное значение ширины раскрытия трещин назначается из условия не проникновения атмосферных осадков внутрь толщины лицевого слоя и, как следствие, предупреждение его дальнейшего разрушения.

Из изложенного следует, что существующие методы расчета облицовочного слоя требуют дальнейшего совершенствования, а начатые авторами исследования в этом направлении прежде всего касаются облицовок в существующих зданиях. Их повышенная дефектность и аварийность предопределяет разработку неотложных мероприятий, направленных на увеличение долговечности и предотвращение обрушений фасадов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ищук, М.К. Отечественный опыт возведения зданий с наружными стенами из облегчённой кладки [Текст] / М.К. Ищук. – М.: РИФ «Стройматериалы», 2009. – 360 с.
2. Гроздов, В.Т. О недостатках существующих проектных решений наружных навесных стен в многоэтажных монолитных железобетонных зданиях. – «Дефекты зданий и сооружений» [Текст] / В.Т. Гроздов. – СПб: ВИТУ, 2006. – С. 15-21.
3. Деркач, В.Н. Несущая способность каменного заполнения каркасных зданий [Текст] / В.Н. Деркач, Р.Б. Орлович // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет-УНПК. – 2011. – №3. – С. 3-8.
4. СНиП II-22-81* Каменные и армокаменные конструкции Госстрой СССР [Текст]. – М.: Стройиздат, 1983 – 40 с.
5. Орлович, Р.Б. Анизотропия прочности каменной кладки из кладочных элементов со щелевыми вертикальными пустотами [Текст] / Р.Б. Орлович, А.Я. Найчук, В.Н. Деркач // Строительная механика и рассчёты сооружений. – 2010. – №3. – С. 35-38.
6. Орлович Р.Б. Критерии прочности, применяемые в зарубежной практике рассчёта [Текст] / Р.Б. Орлович, В.Н. Деркач // Известия ВУЗов». – 2011. – №6. – С. 101-106.
7. EN 1996 – 1:2006 Eurocode 6:Design of masonry structures.
8. Jager W., Thime M. Bemessung von horizontal beanspruchten Mauerwerk nach EN 1996-1-1 mit Hilfe modifizierten Momentenverteilungszahlen. Mauerwerk, 2005. – №1. – S. 8-13.

Орлович Роман Болеславович

Западно-Померанский технологический университет, Республика Польша, г. Щецин
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»
E-mail: orlowicz@mail.ru

Зимин Сергей Сергеевич

г. Санкт-Петербург, Россия
Тел.: +7 921 347 77 01
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

Сазонов Алексей Сергеевич

г. Санкт-Петербург, Россия
Тел.: +7 950 046 87 15
E-mail: asazonov@technip.com

**BEHAIVIOR OF FACING STONE ON THE WALLS
OF FRAMED BUILDINGS ISSUES REGARDING
OUTSIDE BRICK**

Laying for walls of the buildings with solid reinforced concrete frame have been reviewed. Strain and stress states of outside layer under force impact have been reviewed. Short analysis of existing calculation methods for outer layer have been presented.

Keywords: framed buildings; outside brick layer; multilayered brickwork; maintenance.

BIBLIOGRAPHY

1. Ishhuk, M.K. Otechestvennyj opyt vozvedenija zdanij s naruzhnymi stenami iz oblegchionnoj kladki [Tekst] / M.K. Ishhuk. – M.: RIF «Strojmaterialy», 2009. – 360 s.
2. Grozdov, V.T. O nedostatkah sushhestvujushhih proektnyh reshenij naruzhnyh navesnyh sten v mno-
gojeazhnyh monolitnyh zhelezobetonnyh zdanijah. – «Defekty zdanij i sooruzhenij» [Tekst] / V.T. Grozdov. – SPb: VI-
TU, 2006. – S. 15-21.
3. Derkach, V.N. Nesushhaja sposobnost' kamennogo zapolnenija karkasnyh zdanij [Tekst] / V.N. Derkach,
R.B. Orlovich // Stroitel'svo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet-UNPK. – 2011. – №3. – S. 3-8.
4. SNiP II-22-81* Kamennye i armokamennye konstrukcii Gosstroj SSSR [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1983 – 40 s.
5. Orlovich, R.B. Anizotropija prochnosti kamennoj kladki iz kladochnyh elementov so shhelevymi verti-
kal'nymi pustotami [Tekst] / R.B. Orlovich, A.Ja. Najchuk, V.N. Derkach // Stroitel'naja mehanija i rasschjot sooru-
zhenij. – 2010. – №3. – S. 35-38.
6. Orlovich R.B. Kriterii prochnosti, primenjaemye v zarubezhnoj praktike resschjota [Tekst] / R.B. Orlovich,
V.N. Derkach // Izvestija VUZov». – 2011. – №6. – S. 101-106.
7. EN 1996 – 1:2006 Eurocode 6:Design of masonry structures.
8. Jager W., Thime M. Bemessung von horizontal beanspruchten Mauerwerk nach EN 1996-1-1 mit Hilte modi-
fizierten Momentenverteilungszahlen. Mauerwerk, 2005. – №1. – S. 8-13.

R. Orlovich

West Pomeranian technological university, Republic Poland, Szczecin
Doctor of technical science, professor, head of the department «Building designs»
E-mail: orlowicz@mail.ru

S. Zimin

Saint-Petersburg, Russia
Ph.: +7 921 347 77 01
E-mail: zimin_sergei@mail.ru

A. Sazonov

Saint-Petersburg, Russia
Ph.: +7 950 046 87 15
E-mail: asazonov@technip.com

СТОЛПОВСКИЙ Г.А., ЖАДАНОВ В.И., КАЛИНИН С.В.,
ШВЕДОВ В.Н.

ОСОБЕННОСТИ РАССТАНОВКИ ВИТЫХ СТЕРЖНЕЙ В УЗЛОВЫХ СОПРЯЖЕНИЯХ ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ*

Проведены исследования особенностей напряженно-деформированного состояния древесины в зоне забивки стержней методами фотоупругих покрытий. Предложена методика оценки допустимого расстояния между стержнями, устанавливаемыми в деревянный элемент, позволяющего исключить раскалывание деревянного элемента при их забивке.

Ключевые слова: витые стержни; деревянный брус; сопряжения деревянных конструкций; метод фотоупругих покрытий; расстояния между стержнями.

Для повышения несущей способности узловых сопряжений деревянных элементов на кафедре строительных конструкций ОГУ разработан новый тип соединительного элемента в виде крупноразмерного витого стержня крестообразного поперечного сечения [1, 2], выполненного из термически обработанной стали. Главным преимуществом таких стержней по сравнению с традиционными нагелями является возможность их внедрения в массив древесины без предварительной рассверловки отверстий при помощи тяжелого молотка, электро- или пневмоинструмента, а также огнестрельным способом (рис. 1).



Рисунок 1 – Стальной витой стержень

Применение нового типа соединительного элемента в узлах деревянных конструкций вызывает необходимость исследования напряженно-деформированного состояния как самого соединительного стержня, так и массива древесины в зоне его забивки. Без таких исследований практическое применение исследуемых соединений невозможно, т.к. инженер-проектировщик должен иметь в своих руках четкую методику расчета и конструирования узлов деревянных конструкций на витых крестообразных стержнях, работающих на выдергивание, изгиб или на совместное действие этих усилий. Такая методика должна базироваться на объективном анализе прочности и жесткости предлагаемых соединений в зависимости от их фактических параметров. Предлагаемая статья посвящена исследованию вопросов правильной расстановки витых стержней в соединениях деревянных конструкций.

В настоящее время известен ряд различных экспериментальных методов, которые широко используются для исследования напряженно-деформированного состояния и прочности строительных конструкций, в том числе деревянных [3]. При этом, при исследовании деревянных элементов чувствительности стандартных методов, как правило, не хватает. С целью повышения чувствительности применяются различные способы компенсации, которые позволяют определять дробную часть порядка интерференционной полосы. Рассмотрим оптическую схему, представленную на рисунке 2. Эта схема отличается от стандартных тем, что угол между главными осями поляризатора и анализатора отклоняется от прямого на некоторый угол β .

* Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.U02.21.0129.

Колебания E_1 и E_2 пройдут через нагруженную модель с разной скоростью, т.е. за разное время. После прохождения анализатора получим два колебания, равные проекциям векторов E_1 и E_2 на направление плоскости пропускания анализатора:

$$\begin{aligned} E_1^* &= E_0 \sin \omega(t - t_1) \cos \alpha \sin(\alpha - \beta); \\ E_2^* &= E_0 \sin \omega(t - t_2) \sin \alpha \cos(\alpha - \beta). \end{aligned} \quad (1)$$

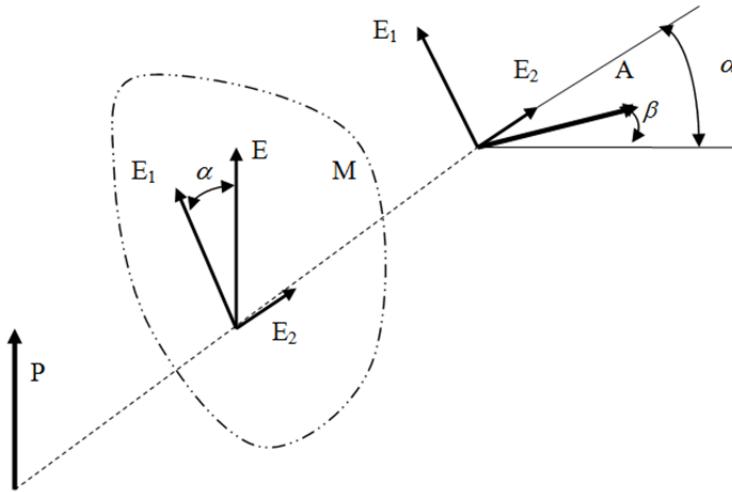


Рисунок 2 – Оптическая схема образования фотоупругих полос

Используя тригонометрические формулы, выражение (1) можно записать по-другому:

$$\begin{aligned} E_1^* &= \frac{1}{2} E_0 \sin \omega(t - t_1) (\sin(2\alpha - \beta) + \sin \beta); \\ E_2^* &= \frac{1}{2} E_0 \sin \omega(t - t_2) (\sin(2\alpha - \beta) - \sin \beta). \end{aligned}$$

Эти два колебания интерферируют, и видимой будет картина, описываемая разностью колебаний:

$$E^* = \frac{1}{2} E_0 (\sin(2\alpha - \beta) (\sin \omega(t - t_1) - \sin \omega(t - t_2)) - \sin \beta (\sin \omega(t - t_1) + \sin \omega(t - t_2))).$$

Применяя формулы для разности и суммы синусов, получим:

$$E^* = E_0 (\sin(2\alpha - \beta) \sin \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) \cos \omega(t - \frac{t_1 - t_2}{2}) - \sin \beta \cos \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) \sin \omega(t - \frac{t_1 - t_2}{2})).$$

Таким образом, после анализатора будут получены две волны, изменяющиеся по закону косинуса и синуса одного и того же аргумента. Результатом сложения этих двух колебаний будет гармоническое колебание, квадрат амплитуды которого равен сумме квадратов амплитуд исходных колебаний. Следовательно, интенсивность света в интерференционной картине будет описываться выражением:

$$I = k E_0^2 (\sin^2(2\alpha - \beta) \sin^2 \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) + \sin^2 \beta \cos^2 \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2)).$$

Интенсивность света будет минимальна в двух случаях. Во-первых, в точках, где $\cos \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) = 0$, при этом $\sin(2\alpha - \beta)$ должен быть равен нулю. То есть изоклина $\alpha - \frac{\beta}{2}$ будет наблюдаться в точках, где разность хода лучей вдоль главных направлений составляет $(\pi N + \frac{\pi}{2})\lambda$. Во-вторых, если $\cos \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) \neq 0$, то в этом случае минимум интенсивности будет наблюдаться в точках, где $\operatorname{tg} \frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) = -\frac{\sin \beta}{\sin(2\alpha - \beta)}$ или $\frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) = \pi N - \operatorname{arctg} \frac{\sin \alpha}{\sin(2\alpha - \beta)}$.

Следовательно, наблюдается картина с дробным порядком полос. Вдоль изоклины 45° ($\alpha = \frac{\pi}{4}$)

разрешающее уравнение имеет вид $\frac{\omega}{2}(t_1 - t_2) = \pi N - \beta$ и порядок полосы равен $N - \frac{\beta}{\pi}$.

В качестве источника света использовалась установка Т 300 (рис. 3). Установка Т 300 предназначена для исследования прозрачных моделей, в связи с чем картина интерференционных полос регистрировалась с помощью цифрового фотоаппарата SAMSUNG, а не штатным анализатором.



Рисунок 3 – Фотография установки Т 300 с исследуемым образцом

В ряде работ [4] отмечено, что затухание возмущения, вызванного приложением самоуравновешенной нагрузки, носит экспоненциальный характер. Так как возмущение, вызванное внедрением стержня, самоуравновешенное, то можно предположить, что затухание величины порядков изохром близко к экспоненциальному и может быть описано выражением:

$$N = Ce^{-\frac{x}{\tau}}, \quad (2)$$

где τ – постоянная, характеризующая скорость затухания возмущения, и определяется как расстояние, на котором возмущение убывает в e раз; x – координата, отсчитываемая вдоль волокон древесины.

Из [3] следует, что $N = \frac{2d \cdot (\varepsilon_1 - \varepsilon_2)}{\varepsilon^{1.0}}$

$$\text{и } \ln N = \ln(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + \ln \frac{2d}{\varepsilon^{1.0}} = \ln(\varepsilon_1 - \varepsilon_2) + C,$$

где C – константа.

Отсюда следует, что быстрота изменения $\ln N$ совпадает с быстротой изменения логарифма разностей главных деформаций на поверхности исследуемого тела и постоянная τ , определенная для величины N характеризует скорость затухания главных сдвиговых деформаций.

В уравнении (2) три неизвестные величины. Это N , т.к. во время забивания стержня картины полос не регистрировались, то абсолютная величина N не известна. Известно только то, что при $\beta = 0$, N целое число. Вторая неизвестная C , наибольший порядок полосы вблизи стержня. И, наконец, собственно искомая величина τ . Указанные величины могут быть найдены, решая систему из трех уравнений типа:

$$N + \frac{i}{6} = Ce^{-\frac{x_i}{\tau}}, \quad (3)$$

где $i = 0, 1, 2, 3$ для картин полос с β равным $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ и 90° соответственно; x_i – координата центра темной полосы на соответствующей картине полос.

Так как картин полос четыре (рис. 4), а для нахождения искомых величин необходимы данные полученные по трем картинам, поэтому возможны четыре различных систем уравнений для нахождения искомых величин. Системы уравнений решались с помощью программы MathCad. Результаты вычислений приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1 – Стержень 14 мм (забит на 5 см)

Сочетания i	0, 1, 2	0, 1, 3	0, 2, 3	1, 2, 3
N	1,088	1,048	1,024	1,007
C	2,293	2,219	2,286	2,308
τ	0,842	0,808	0,782	0,760

$$\tau_{cp} = 0.80 \text{ см.}$$

Таблица 2 – Стержень 14 мм (забит на 10 см)

Сочетания i	0, 1, 2	0, 1, 3	0, 2, 3	1, 2, 3
N	1,088	1,001	0,95	0,92
C	2,76	2,78	2,84	2,97
τ	1,80	1,65	1,54	1,45

$$\tau_{cp} = 1.61 \text{ см.}$$

Таблица 3 – Стержень 16 мм (забит на 10 см)

Сочетания i	0, 1, 2	0, 1, 3	0, 2, 3	1, 2, 3
N	1,098	1,01	0,954	0,944
C	2,066	2,02	2,027	2,07
τ	2,105	1,92	1,79	1,69

$$\tau_{cp} = 1,87 \text{ см.}$$

При вычислении постоянной затухания τ применялся метод последовательных приближений. При этом координаты центров темных полос варьировались произвольным образом в пределах, допускаемых погрешностью, с целью, чтобы N во всех четырех случаях было близко к целому числу. Вычисление τ для стержня с характерным размером 16 мм при внедрении на 5 см не производилось, т.к. анализ деформированного состояния вблизи стержня 14 мм показал, что постоянная затухания значительно возрастает при забивании на всю толщину бруса.

Чтобы исключить раскалывание деревянного элемента при забивке в него стержней, расстояние между стержнями следует принимать таким, чтобы в области наложения напряжений, обусловленных забивкой двух соседних стержней, величина каждого из напряжений снижалась до 5% от максимальной величины. Данное уменьшение происходит на расстоянии равном $2,5\tau$, следовательно, расстояние между соседними стержнями следует принимать равным 5τ . Следует отметить, что решение системы уравнений (3) сильно зависит от точности определения центров полос, поэтому указанные величины можно рекомендовать как нижний предел при установке стержней.

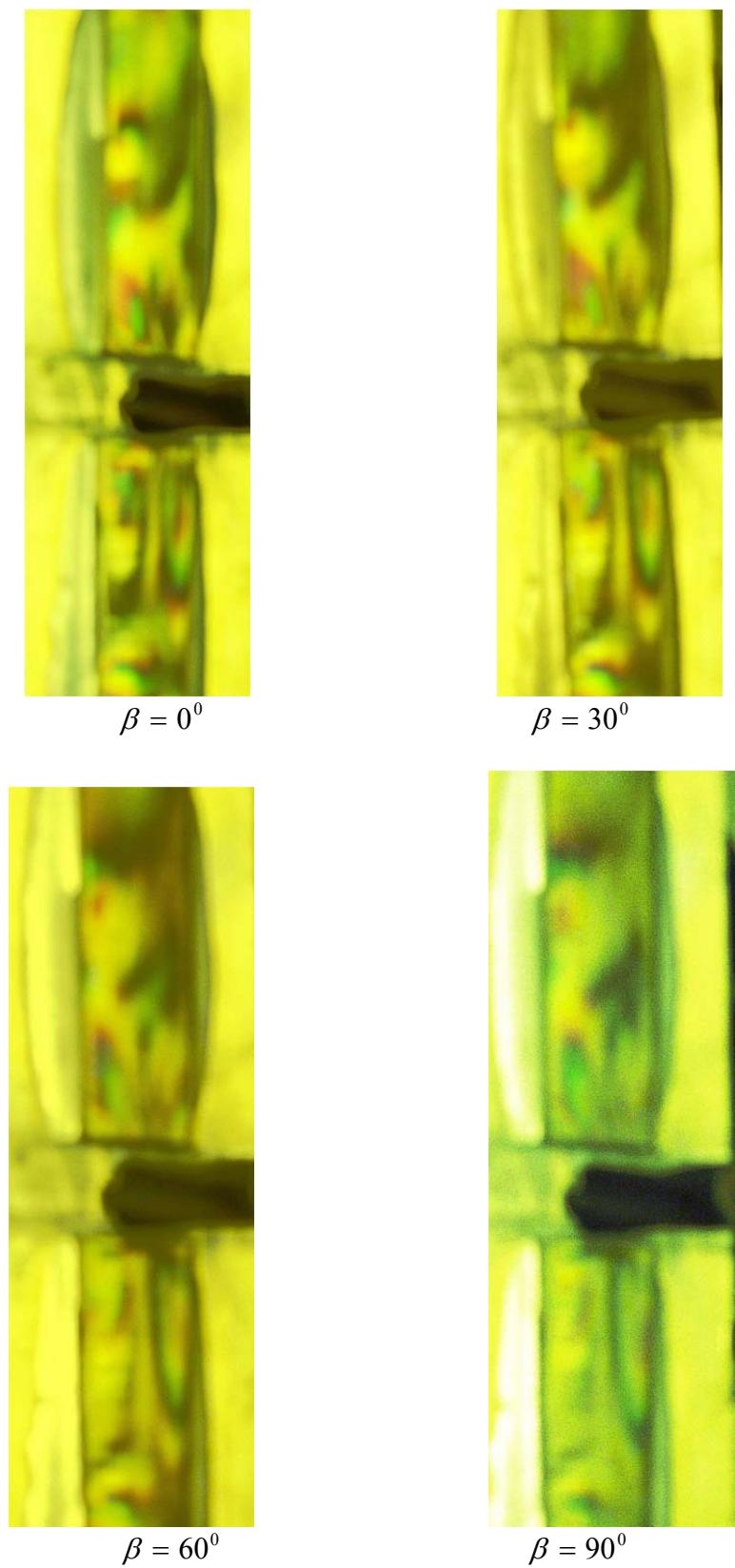


Рисунок 4 – Картины полос вблизи стержня 16 мм (забит на 100 мм)

Вывод

Проведенные исследования особенностей напряженно-деформированного состояния древесины в зоне забивки стержней методами фотоупругих покрытий позволил установить минимально допустимые расстояния между осями витых стальных стержней крестообразного

поперечного сечения при их забивке в массив древесины в направлении поперек волокон, которые следует принимать:

- между осями стержней и от оси стержня до торца деревянного элемента в направлении вдоль волокон – $S_1 \geq 6d$;
- между осями стержней в направлении поперек волокон древесины – $S_2 \geq 3d$;
- от оси стержня до кромки деревянного элемента в направлении поперек волокон – $S_3 \geq 3d$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патент РФ на изобретение №2353830. МПК F16B 13/00. Соединение деревянных элементов строительных конструкций [Текст] / П.А. Дмитриев, В.Н. Шведов, Г.А. Столповский, Д.А. Украинченко // Опубл. 27.04.2009, Бюл.12. – 6 с.
2. Лисов, С.В. Экспериментальные исследования соединения элементов деревянных конструкций на стальных винтовых стержнях (статья) [Текст] / С.В. Лисов, Г.А. Столповский // Вестник ОГУ. – 2011. – №4. – С.161-163.
3. Алтури С., Кобаяси А., Дэлли Д. [и др.]. Экспериментальная механика [Текст]: В 2-х книгах / Под ред. А. Кобаяси. – М.: Мир, 1990.
4. Жилкин, В.А. Определение зоны краевого эффекта с помощью метода голографического муара [Текст] / В.А. Жилкин, В.Б. Зиновьев // Журнал прикладной механики и технической физики. – 1986. – №5. – С. 132-135.

Столповский Георгий Александрович

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Строительные конструкции»

Тел.: +7 (9033) 67-91-72

E-mail: stolpovskij@mail.ru

Жаданов Виктор Иванович

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительные конструкции»

Тел.: +7 (9033) 67-11-42

E-mail: organ-2003@bk.ru

Калинин Сергей Владимирович

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Преподаватель кафедры «Строительные конструкции»

Тел.: +7 (9033) 65-88-22

E-mail: organ-2003@bk.ru

Шведов Владимир Николаевич

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет, г. Новосибирск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции»

Тел.: +7(9618) 450781

E-mail: organ-2003@bk.ru

G. STOLPOVSKY, V. ZHADANOV, S. KALININ,
V. SHVEDOV

THE PECULIARITIES OF THE ARRANGEMENT OF TWISTED RODS IN NODAL OF WOODEN STRUCTURES

Researches of features intense the deformed condition of wood in a zone of blockage of cores are conducted by methods of photoelastic coverings. The technique of an assessment of admissible distance between cores established in the wooden element, allowing to exclude splitting of a wooden element at their blockage is offered.

Keywords: twisted cores; wooden bar; interfaces of wooden designs; a method of photoelastic coverings; distances between cores.

BIBLIOGRAPHY

1. Patent RF na izobretenie №2353830. MPK F16B 13/00. Soedinenie derevjannyh jelementov stroitel'nyh konstrukcij [Tekst] / P.A. Dmitriev, V.N. Shvedov, G.A. Stolpovskij, D.A. Ukrainianchenko // Opubl. 27.04.2009, Bjul.12. – 6 s.
2. Lisov, S.V. Jeksperimental'nye issledovanija soedinenija jelementov derevjannyh konstrukcij na stal'nyh vintovyh sterzhnijah (stat'ja) [Tekst] / S.V. Lisov, G.A. Stolpovskij // Vestnik OGU. – 2011. – №4. – S.161-163.
3. Alturi S., Kobajasi A., Djelli D. [i dr.]. Jeksperimental'naja mehanika [Tekst]: V 2-h knigah / Pod red. A. Kobajasi. – M.: Mir, 1990.
4. Zhilkin, V.A. Opredelenie zony kraevogo jeffekta s pomoshh'ju metoda golograficheskogo muara [Tekst] / V.A. Zhilkin, V.B. Zinov'ev // Zhurnal prikladnoj mehaniki i tehnicheskoj fiziki. – 1986. – №5. – C. 132-135.

G. Stolpovskiy

Orenburg state university, Orenburg

Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Building constructions»

Ph.: +7 (9033) 67-91-72

E-mail: stolpovskij@mail.ru

V. Gadanova

Orenburg state university, Orenburg

Doctor of technical sciences, head of the department «Building constructions»

Ph.: +7 (9033) 67-11-42

E-mail: organ-2003@bk.ru

S. Kalinin

Orenburg state university, Orenburg

Lecturer of the department «Building constructions»

Ph.: +7 (9033) 65-88-22

E-mail: organ-2003@bk.ru

V. Shvedov

Novosibirsk state architectural-building university, Novosibirsk

Candidate of technical sciences, associate professor of the department «Metallic and wooden constructions»

Ph.: +7 (9618) 450781

E-mail: organ-2003@bk.ru

ЧЕРНЯЕВА Р.П.

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ГРАНИЦ ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ ПРИ РАСЧЕТЕ СТАТИЧЕСКИ НЕОПРЕДЕЛИМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПО МЕТОДУ ПРЕДЕЛЬНОГО РАВНОВЕСИЯ

В статье рассмотрен практический анализ определения границ перераспределения усилий при расчете статически неопределеных железобетонных балок по методу предельного равновесия в соответствии с действующими нормативными документами. По результатам расчета автором сделан вывод о целесообразности рекомендаций норм в части рассматриваемой задачи.

Ключевые слова: метод предельного равновесия; перераспределение усилий; ширина раскрытия трещин; пластический шарнир.

В практике строительства многоэтажных зданий наибольшее распространение получили монолитные балочные перекрытия, в состав которых входят многопролетные статически неопределеные балки, а также сборные железобетонные каркасы, в состав которых входят многопролетные ригели, статическая неопределенность которых создается, как правило, соединением надопорной арматуры с последующим омоноличиванием стыков сборных элементов, в том числе и предварительно напряженных.

При расчете статически неопределенных конструкций по методу предельного равновесия необходимо выполнять перераспределение усилий вследствие допущения пластических шарниров, не нарушающих геометрической неизменяемости системы.

Одной из главных целей перераспределения усилий в балке (ригеле) будем считать максимально возможное уменьшение опорных моментов с одновременным выравниванием последних, что позволяет унифицировать стыки ригелей в сборных железобетонных каркасах многоэтажных промышленных и гражданских зданий.

Границы перераспределения моментов необходимо устанавливать из условия обеспечения трещиностойкости балки, т.е. выполнять условие – ширина раскрытия трещин должна быть меньше предельно допустимой, устанавливаемой СП 63.13330, 2012 [1, формула. 8.118].

На ширину раскрытия трещин оказывают влияние различные факторы: продолжительность действия нагрузки, вид и профиль арматуры и др. В 2004 году было предложено при расчете ширины раскрытия трещин учитывать еще один фактор – базовое расстояние между трещинами, зависящее от диаметра арматуры [3]. В настоящее время это предложение сохранено и в актуализированной редакции свода правил [1].

В балках монолитных перекрытий и в качестве надопорной арматуры в ригелях сборных (сборно-монолитных) перекрытий используют арматуру класса A400 (A-III), поэтому преобразуем величину расстояния между трещинами l_s именно для этой арматуры.

Принимая $A_{bt} = 0,5A$ [1, п. 8.2.17] и $A_s = \mu A = 0,015A$, получим:

$$l_s = 0,5 \frac{A_{bt}}{A_s} d_s = 0,5 \frac{0,5}{\mu} d_s = \frac{0,25}{0,015} d = 16,67 d_s \quad (1)$$

Принимая непродолжительное действие нагрузки – $\varphi_1 = 1$, для арматуры периодического профиля – $\varphi_2 = 0,5$, для изгибаемых элементов – $\varphi_3 = 1$, $\psi_s = 1$ [1, п. 8.2.15], получим:

$$\alpha_{arc} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 \frac{\sigma_s}{E_s} 16,67 d = 8,33 \frac{\sigma_s}{E_s} d_s.$$

При продолжительном действии нагрузки ($\phi_l = 1,4$) $\alpha_{arc} = 11,67 \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot d_s$.

Запишем зависимость изгибающих моментов до и после перераспределения в виде:

$$M_I = \chi M_{II},$$

где χ – уровень возможного снижения опорных моментов; M_I – минимальная ордината (по абсолютному значению) огибающей эпюры моментов после перераспределения от полных нагрузок при $\gamma_f > 1$; M_{II} – ордината огибающей в упругой системе от нагрузок при $\gamma_f = 1$.

Учитывая, что в зоне пластического шарнира напряжения в арматуре $\sigma_s = R_s$, для определения ширины раскрытия трещин запишем:

$$a_{crc,ult} = \varphi_1 \varphi_2 \varphi_3 \psi_s R_s l_s / E_s.$$

Уровень возможного снижения опорных моментов:

- при непродолжительном действии нагрузки

$$\chi = 8,33 \frac{R_s}{a_{crc.ult.1} E_s} d_s = 8,33 \frac{350}{0,4 \cdot 200000} d_s = 0,0364 d_s;$$

- при продолжительном действии нагрузки

$$\chi_l = 11,67 \frac{R_s}{a_{crc.ult.2} E_s} d_s = 11,67 \frac{350}{0,3 \cdot 200000} d_s = 0,068 d_s.$$

Поскольку границы перераспределения усилий ограничены требованиями расчета по предельным состояниям второй группы (в частности шириной раскрытия трещин), расчет по упругой стадии следует производить трижды: на действие полной нагрузки при $\gamma_f > 1$, той же нагрузки при $\gamma_f = 1$ и на продолжительно действующие нагрузки при $\gamma_f = 1$.

Умножая значения изгибающих моментов, вычисленные в сечениях балки как упругой системы, на соответствующие коэффициенты χ , получим максимальные (по абсолютной величине) величины моментов после перераспределения. Перераспределение следует выполнять для каждого сочетания нагрузок отдельно. Затем определяют ординаты огибающей эпюры моментов, а также значения поперечных сил в расчетных сечениях балки.

Поверочные расчеты показали, что в некоторых случаях величины моментов после перераспределения (по абсолютной величине) оказались больше максимальных от полных нагрузок при $\gamma_f > 1$. Это значит, что из условий ограничения ширины раскрытия трещин расчет требуемого количества арматуры следует производить на максимальные (по абсолютной величине) моменты, т.е. на моменты после перераспределения.

В то же время следует отметить, что ширина раскрытия трещин, вычисленная по СП 63.13330.2012 (введены в действие с 1.01.2013 г.), значительно превышает величину ширины раскрытия трещин по СНиП 2.0301-84*. Превышение составляет в зависимости от диаметра арматуры от 130% до 250%.

Выполнен сравнительный анализ ширины раскрытия трещин: рассмотрены изгибаемые элементы (балки) армированные арматурой периодического профиля класса А400 (АIII), с коэффициентом армирования 0,015, выполнены преобразования формул. Результаты анализа представлены в таблицах 1, 2 и 3.

В таблице 4 приведены значения границ перераспределения усилий при расчете статически неопределеных конструкций по методу предельного равновесия, вычисленные по [1] и [2].

В качестве примера был выполнен статический расчет пятипролетного ригеля. На первом этапе вычислены изгибающие моменты в упругой системе. Над первой промежуточной опорой:

- от полной нагрузки при $\gamma_f > 1 - M_{max} = -1031,6 \text{ кН}\cdot\text{м};$
- от полной нагрузки при $\gamma_f = 1 - M_I = -878,9 \text{ кН}\cdot\text{м};$
- от постоянной и длительной нагрузок при $\gamma_f = 1 - M_l = -733,5 \text{ кН}\cdot\text{м}.$

В надопорном сечении предварительно принята арматура Ø36 А400. Из таблицы 4 уровень возможного снижения опорных моментов $\chi = 1,3104$, $\chi_l = 2,228$ по [1]. Величина сниженных моментов определена по формулам:

$$M' = \chi M_I = 1,3104 \cdot 878,9 = 1151,7 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$M'' = \chi_l M_I = 2,228 \cdot 733,5 = 1634,24 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Для сравнения по СНиП [2]:

$$M' = \chi M_I = 0,578 \cdot 878,9 = 508,0 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

$$M'' = \chi_l M_I = 1,08 \cdot 733,5 = 792,18 \text{ кН}\cdot\text{м}.$$

Таблица 1

СНиП 2.03.01-84*		
Непродолжительное действие нагрузки	φ	1
Продолжительное действие нагрузки	φ_l	1,4
Вид и профиль арматуры (A400)	η	1,0
Характер нагружения (изгиб)	δ	1,0
Коэффициент армирования	μ	0,015
$\alpha_{arc} = \varphi_l \eta \delta \cdot 20(3,5-100 \mu) \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d}$ $K_1 = \varphi_l \eta \delta \cdot 20(3,5-100 \mu) = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 20 (3,5-100 \cdot 0,015) = 40$ $\alpha_{arc,1} = K_1 \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d} = 40 \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d}; \quad \alpha_{arc,2} = K_{1l} \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d} = 56 \frac{\sigma_s}{E_s} \sqrt[3]{d}$		

Таблица 2

СП 63.13330		
Непродолжительное действие нагрузки	φ	1
Продолжительное действие нагрузки	φ_l	1,4
Вид и профиль арматуры	φ_2	0,5
Характер нагружения (изгиб)	φ_3	1,0
$\alpha_{arc} \leq \alpha_{arc,ult}$	ψ_s	1,0
Базовое расстояние между трещинами	$l_s = 16,67 d$	16,67d
$\alpha_{arc} = \varphi_l \varphi_2 \varphi_3 \psi_s \frac{\sigma_s}{E_s} l_s$ $K_1 = \varphi_l \varphi_2 \varphi_3 \psi_s = 1 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 = 0,5$ $K_{1l} = \varphi_l \varphi_2 \varphi_3 \psi_s = 1,4 \cdot 0,5 \cdot 1 \cdot 1 = 0,7$ $\alpha_{crc,1} = K_2 \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 0,5 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} 16,67 d = 8,33 \frac{\sigma_s}{E_s} d$ $\alpha_{crc,2} = K_{1l} \frac{\sigma_s}{E_s} l_s = 0,7 \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} 16,67 d = 11,67 \frac{\sigma_s}{E_s} d$		

Как видим, при условии допущения появления пластических шарниров (с учетом рекомендаций [1]) в надопорных сечениях ригеля, следует предусматривать арматуру из условия $\alpha_{crc} \leq \alpha_{crc,ult}$, т.е. рассчитывать ее на $M'' = 1634,24 \text{ кН}\cdot\text{м} > M_{max} = 1031,6 \text{ кН}\cdot\text{м}$. Очевидно, что при перераспределении изменятся пролетные моменты и, как следствие, уменьшится или увеличится количество пролетной арматуры. Окончательное решение может быть принято на основании экономического сравнения различных вариантов.

Следует заметить, что определяя уровень снижения надопорных моментов по формулам СНиП [2], максимальный расчетный момент может быть снижен на 23,2%.

Таблица 3 – Сравнительный анализ ширины раскрытия трещин (мм) в пластическом шарнире при расчете по СНиП 2.03.01-84* и СП 63.13330

$$K = \frac{R_s}{E_s} = \frac{350}{200000} = 0,00175$$

	Формула α_{arc}	Диаметр арматуры								
		16	18	20	22	25	28	32	36	40
СНиП	$40 K \sqrt[3]{d}$	0,176	0,183	0,190	0,196	0,205	0,213	0,222	0,231	0,239
СП 63	$8,33 K d$	0,233	0,262	0,292	0,321	0,364	0,408	0,466	0,525	0,583
СП 63 / СНиП		1,325	1,434	1,534	1,636	1,778	1,916	2,101	2,272	2,440
СНиП	$56 K \sqrt[3]{d}$	0,246	0,256	0,266	0,274	0,287	0,298	0,311	0,323	0,335
СП 63	$11,67 K d$	0,327	0,368	0,408	0,449	0,511	0,572	0,654	0,735	0,817
СП 63 / СНиП		1,328	1,436	1,536	1,640	1,779	1,919	2,101	2,276	2,439

Таблица 4 – Коэффициенты χ и χ_u для определения границ перераспределения усилий

Диаметр арматуры d	СП 63.13330		СНиП	
	$\chi = 0,0364 d$	$\chi_u = 0,068 d$	$\chi = 0,175 \sqrt[3]{d}$	$\chi_u = 0,327 \sqrt[3]{d}$
14	0,5096	0,952	0,4218	0,788
16	0,5824	1,088	0,4410	0,824
18	0,6552	1,224	0,4586	0,857
20	0,7280	1,360	0,4750	0,888
22	0,8008	1,496	0,4900	0,916
25	0,9100	1,700	0,5120	0,956
28	1,0192	1,904	0,5310	0,993
32	1,1648	2,176	0,5556	1,038
36	1,3104	2,228	0,5780	1,080
40	1,4560	2,720	0,5980	1,118

Из приведенных расчетов видно, что использование рекомендаций [1] по расчету ширины раскрытия трещин приводит к увеличению расчетных изгибающих моментов и, как следствие, к увеличению расхода арматуры. В то время как расчеты железобетонных конструкций по формулам СНиП [2], успешно используемые в течение трех последних десятилетий, позволяли при расчете по методу предельного равновесия получать экономический эффект. Очевидно, что использование рекомендаций СП [1] по расчету ширины раскрытия трещин требует дополнительного обоснования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 63.13330.2012. Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения (Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003) [Текст]. – М.: ФАУ «ФЦС», 2012.
2. СНиП 2.03.01-84* Бетонные и железобетонные конструкции [Текст]. – М., 1989.
3. СП 52-102-2004. Свод правил по проектированию и строительству предварительно напряженных железобетонных конструкций [Текст]. – М., 2004.
4. Черняева, Р.П. Статический расчет железобетонных балок по методу предельного равновесия [Текст]: учеб. пособие / Р.П. Черняева, В.П. Полищук. – Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2011.

Черняева Руфина Петровна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

R. CHERNYAEVA

**TO DELIMITATION OF REDISTRIBUTION OF EFFORTS
AT CALCULATION OF STATICALLY INDEFINABLE
FERROCONCRETE BEAMS ON A METHOD OF LIMIT BALANCE**

In article the practical analysis of delimitation of redistribution of efforts is considered at calculation of statically indefinable ferroconcrete beams for a method of limit balance according to existing normative documents. By results of calculation by the author the conclusion is drawn on expediency of recommendations of norms regarding a considered task.

Keywords: method of limit balance; redistribution of efforts; width of disclosure of cracks; plastic hinge.

BIBLIOGRAPHY

1. SP 63.13330.2012. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii. Osnovnye polozhenija. (Aktualizirovannaja redakcija SNIП 52-01-2003) [Tekst]. – M.: FAU «FCS», 2012.
2. SNIП 2.03.01-84* Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii [Tekst]. – M., 1989.
3. SP 52-102-2004. Svod pravil po proektirovaniyu i stroitel'stvu predvaritel'no naprjazhennyh zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst]. – M., 2004.
4. Chernyaeva, R.P. Staticheskij raschet zhelezobetonnyh balok po metodu predel'nogo ravnovesija [Tekst]: ucheb. posobie / R.P.Chernyaeva, V.P. Polishuk. – Kursk: Jugo-Zap. gos. un-t, 2011.

R. Chernyaeva

Southwest state university, Kursk

Candidate of technical sciences, professor of the department «Industrial and civil construction»

УДК 728.84

БУДАРИН Е.Л.

**КЛИМАТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
АРХИТЕКТУРНОГО ФОРМООБРАЗОВАНИЯ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ИНДИВИДУАЛЬНОГО
ЖИЛИЩА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ
СТАВРОПОЛЬСКОГО КРАЯ**

Изложены результаты исследования по определению научно обоснованных принципов и рекомендаций для проектирования современных энергоэффективных индивидуальных жилых домов. Изучены природно-климатические условия и факторы, влияющие на тепловой баланс здания и формирующие архитектуру индивидуального жилища. Рассмотрено влияние региональных природно-климатических условий на архитектурно-планировочную организацию односемейного жилища различных типов. Даны разработка научных рекомендаций для проектирования индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением. Применена карта с детализацией климатического районирования Ставропольского края. При рассмотрении климата его равнинной территории было выделено три местных климатических зоны: западная зона (B1), зона Ставрополя (B2), восточная зона (B3).

Ключевые слова: энергоэффективный жилой дом; архитектурное формообразование; традиционный жилой дом; климатические зоны; тепловой контур; альтернативные источники энергии; энергопотребление.

Введение

В статье изложены результаты исследования по определению научно обоснованных принципов и рекомендаций для проектирования современных энергоэффективных индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением в Ставропольском крае. Рассматривается пассивный дом, энергоэффективный дом или экодом – это сооружение, основной особенностью которого является отсутствие необходимого отопления или малое энергопотребление – в среднем около 10% от удельной энергии на единицу объема, потребляемой большинством современных зданий.

Практика строительства энергоэффективных домов в России показывает, что цифры энергопотребления для одинакового по конструкции дома выше Европейских норм на 35-50%. Однако это значительно эффективнее, чем традиционные методы строительства в России.

Автором были изучены природно-климатические условия и факторы, влияющие на тепловой баланс здания и формирующие архитектуру индивидуального жилища. Обобщение народного, отечественного и мирового опыта проектирования и строительства индивидуальных жилых домов позволило определить архитектурно-планировочную структуру, позволяющую уменьшать потери тепловой энергии. Исследование энергетического потенциала ограждающего пространства индивидуального жилого дома позволило выявить особенности в архитектурном формообразовании жилых домов с низким энергопотреблением в каждой климатической зоне Ставропольского края.

1. Научное обоснование для проектирования энергоэффективных индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением

Автором проведено исследование, целью которого является определение научно обоснованных принципов для энергоэффективных индивидуальных жилых домов с низким энер-

гопотреблением (ДНЭ)^{*}. Дана разработка научных рекомендаций для проектирования индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением в Ставропольском крае. Проектирование и строительство ДНЭ вызвано определенными условиями. Из-за экологического и энергетического кризисов возникает большая необходимость в сохранении природных ресурсов. Большинство индивидуальных жилых домов до настоящего времени было построено без учета всех требований теплоизоляции, по типовым проектам, в которых не учтены климатические особенности региона. В современных условиях Ставропольского края мало используются новейшие технологии, которые могут удешевить строительство и эксплуатацию зданий. Отсутствует экспериментальное проектирование и строительство индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением. Не применяются мероприятия в области техники повторного использования тепла, устройства теплоизоляции, правильной ориентации зданий по сторонам света и других основных принципов рационального использования энергии. Поэтому сегодня жилые дома в России потребляют энергии в 2,5-4,4 раза больше, чем жилые дома с низким энергопотреблением, построенные в Европе и других странах мира[†].

В процессе исследования рассмотрено влияние региональных природно-климатических условий на архитектурно-планировочную организацию односемейного жилища различных типов в современных условиях Ставропольского края. В основу исследования положен комплексный подход, который включает в себя:

- анализ климатических условий и факторов Ставропольского края [1, 8, 12];
- обобщение отечественного и мирового опыта проектирования и строительства индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением на основе анализа специализированной и периодической литературы, а также существующих в практике архитектурных структур и решений[2, 3, 4, 5, 11, 22];
- теплофизические расчеты ограждающих конструкций индивидуального жилого дома по принятым в настоящее время СНиП и мировым методикам, их сравнительный анализ [10, 11, 13, 15, 16, 17, 22];
- теоретическая база исследования основана на трудах архитекторов, климатологов, конструкторов и инженеров-технологов по проектированию комфортной жилой среды, исследователей инсоляции, аэрации и альтернативного энергоснабжения [2, 5, 9, 10, 11, 14, 15, 19, 21, 23].

2. Архитектурное формообразование энергоэффективного индивидуального жилого дома с низким энергопотреблением

Проведенное исследование энергетического потенциала архитектурного ограждающего пространства (*теплового контура*)[‡] индивидуального жилого дома позволило выявить особенности архитектурного формообразования дома с низким энергопотреблением в каждой климатической зоне Ставропольского края. Как известно, специфика теплового контура на Ставрополье состоит в том, что зимой необходимо защищать помещения жилого дома от переохлаждения, а летом – от перегрева. Ставропольский край отличается резко-континентальным климатом с жарким летом и холодной зимой [21, 22, 23, 24].

Многие отечественные и мировые исследователи работали над проблемами учета природно-климатических условий и факторов при проектировании жилых зданий, это: М.М. Атаева, А.М. Береговой, К.А. Биркая, Н.П. Былинкин, В.И. Галевко, Б.И. Гиясов, Б.М. Давидсон, С.П. Дьяков, А.В. Ершов, Я.Т. Кравчук, Е.А. Леонтьев, З.П. Ломтатидзе, Т.С. Маргианашвили, Т.Б. Рапопорт, М.С. Туполев, С.В. Ушаков, С.М. Шаффранский и др. В Южно-Российском и Северо-Кавказском регионах, это: В.А. Карамышев, К.И. Куликов, В.П. Попов, А.В. Селиверстов,

* Дом с низким энергопотреблением – это жилой дом, который потребляет предельно мало тепловой энергии, меньше 70 кВт·м² в год. Термин введен в специальной литературе [24].

† Фомина Т.Е. Особенности архитектурной организации жилища с низким энергопотреблением в условиях Южно-Российского региона / Т.Е. Фомина // Вестник ТГСУ. – Томск: Изд-во ТГСУ. – 2008 г. № 3. – С. 53.

‡ *Тепловым контуром* называются наружные ограждающие конструкции жилых зданий устроенных по энергосберегающей технологии, основным назначением которых является защита внутреннего пространства от внешнего атмосферного влияния [23, с. 54].

А.В. Титов. Детализацию климатического районирования территории Южно-Российского и Северо-Кавказского регионов выполнили Б.И. Браило, А.И. Василенко, Л.В. Карасева, Л.Н. Михалкович, В.М. Молчанов, И.Г. Рабкина, Л.А. Солодилова, В.И. Травин, Л.П. Шевченко [1].

В направлении гигиенических требований к микроклимату индивидуального жилища исследования проводили: С.И. Ветошкина, И.К. Витте, М.С. Горомосов, И.М. Данциг, И.С. Кондрор, В.Е. Кореньков, П.М. Лerner, В.К. Лицкевич, А.Е. Малышева, А.П. Мардеев, К.А. Рапопорт, Е.М. Ратнер, Н.Н. Руденко, М.А. Ципер и др.

Изучением теплотехнических параметров ограждающих конструкций и утеплителей занимались: Г.А. Айрапетов, В.С. Беляев, Г.П. Бойков, И.Н. Бутовский, М.Н. Кокоев, Ю.А. Матросов, В.В. Наседкин, А.Г. Переображенцев, Б.М. Простаков, В.Т. Федоров, Л.Т. Хохлова, О.В. Шаронова и др. [23].

В направлении светового климата и инсоляции исследования проводили М.И. Бжахов, А.А. Верховский, Х.М. Гуклетов, Л.Л. Дацкевич, Н.В. Оболенский, В.К. Савин и др.

Над возможностью использования возобновляемых источников энергии при проектировании жилых домов в России изучали: В.А. Акопджанян, М.М. Захидов, Н.И. Масленников, А.А. Саидов, Н.П. Селиванов, Е.В. Плюхин, С.В. Ушаков и др. [23].

Над научно обоснованным формированием микроклимата и экологии индивидуальных жилых зданий работали В.А. Блинов, Н.М. Гусев, Г.К. Климова, В.Е. Каменкова, И.В. Маргинани, Н.П. Титова, В.И. Фельдман и др.

В мировой практике вопросами проектирования энергосберегающих жилых домов с использованием возобновляемых источников энергии занимались специалисты: А. Дэвис, Р. Шуберт, Р. Липмайстер, С. Заколей, Р. Грилей, Р. Оулетт, Д. Ватсон, Б. Андерсон, Е. Харкнесс, М. Мехта, М. Телкес, С. Байер, Г. Берндт, В. Файст, Э. Морган, Ф. Тромба, С. Танаки, Р. Суда и др. [23].

Вместе с этим комплексные исследования по изучению влияния региональных климатических условий и факторов на структуру ограждающих конструкций в жилых зданиях с целью определения оптимального энергообеспечения и создания комфортной среды для проживания человека в Ставропольском крае не проводились.

В настоящем исследовании рассмотрены и представлены параметры:

1) комплексное изучение влияния климатических условий и факторов в отдельных климатических зонах Ставропольского края на архитектурно-планировочную организацию индивидуального жилища;

2) определение оптимальных энергозатрат индивидуальных жилых домов различных видов домостроения;

3) исследование энергетического потенциала ограждающего пространства индивидуального жилого дома с целью выявления особенностей в архитектурном формообразовании для дома с низким энергопотреблением в каждой климатической зоне Ставропольского края;

4) оптимальная организация регионального жилища на основе данных полученных в результате исследований.

Согласно СНиП 23-01-99 «Строительная климатология» территория Ставропольского края относится к III климатическому району (IIIБ) [16]. Но данное распределение не учитывает широкого разнообразия природно-климатических условий и особенностей территории Ставрополья и продолжительность воздействия на нее климатических факторов.

2. Климатические зоны территории Ставропольского края

В исследовании автором используется природно-климатическое районирование Ставропольского края, разработанное учеными РГАИ Карабевой Л.В., Михалкович Л.Н. и др. для Южно-Российского региона*, методической основой которого являются климатические данные, используемые при проектировании и строительстве ограждающих конструкций и инженерных систем жилых зданий. На основе изучения повторяемости и длительности характер-

* Авторский коллектив кафедр архитектуры жилых и общественных зданий и инженерно-экономических дисциплин Ростовского государственного архитектурного института: Браило Б.И., Василенко А.И., Карабева Л.В., Михалкович Л.Н., Молчанов В.М., Рабкина И.Г., Солодилова Л.А., Травин В.И., Шевченко Л.П. [1, с. 3].

ных типов погоды в течение года и была применена карта с детализацией климатического районирования Ставропольского края (рис. 1) [1, 22, 23].

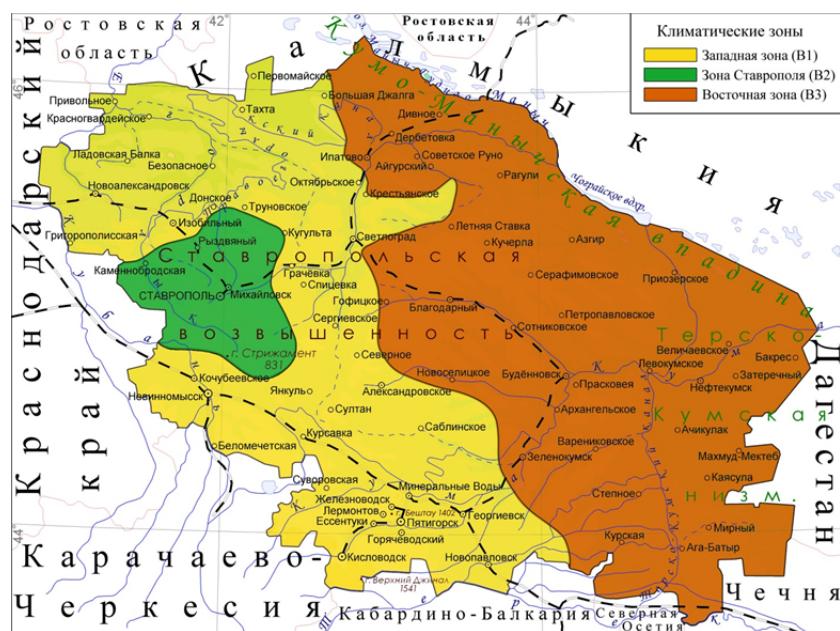


Рисунок 1 – Карта Ставропольского края разделенная на климатические зоны (B1, B2, B3)

По районированию, предложенном Ростовскими специалистами Карабовой Л.В. и Михалкович Л.Н., территория Ставропольского края имеет достаточно сложный рельеф местности, что во многом определяет его природно-климатические условия. Оценка фоновых условий показала, что продолжительность холодного и прохладного типов погоды на всей территории края одинакова. При рассмотрении климата его равнинной территории было выделено три местных климатических зоны: **западная зона (B1)**, **зона Ставрополя (B2)**, **восточная зона (B3)** [1, 23].

К **западной зоне (B1)** относятся западные районы Ставропольского края (Красногвардейское, Новоалександровск, Невинномысск, Александровское, Минеральные Воды, Пятигорск, Кисловодск, Новопавловск). Кавминводы расположены в предгорье на высоте от 500 до 1500 м над уровнем моря. В холодное время года продолжителен холодный тип погоды с преобладающими восточными ветрами, вызывающими охлаждение. В весенне-летний сезон сильные ветры восточного направления приводят к пыльным бурям.

Зона Ставрополя (B2), к ней относятся (Ставрополь, Михайловск, Московское, Рыздвиги, Каменнобродская). Эта зона занимает верхнюю часть Ставропольской возвышенности (наибольшая высота – 831 м. гора Стрижамент). Зимой и летом преобладают ветры западного направления со скоростью более 5 м/с. Климат умеренно-влажный.

Восточная зона (B3), это (Дивное, Арзгир, Благодарный, Буденновск, Зеленокумск, Нефтекумск, Курская), здесь характерен более континентальный климат, чем в остальных точках края. Зимой преобладают охлаждающие восточные и юго-восточные ветры. Лето более сухое и жаркое. В весенне-осенний период вероятны пыльные бури. Западный сектор горизонта благоприятен по воздействию несущих прохладу западных ветров, но нежелателен для ориентации фасадов жилых домов по условиям избыточной инсоляции [1 с. 37].

В этом направлении было изучено влияние природно-климатических условий в отдельных климатических зонах Ставропольского края на архитектурно-планировочную организацию индивидуального жилого дома. На форму плана, степень его компактности, приемы блокировки дома по вертикали и горизонтали. Использование пристроенных элементов жилища (навес, крыльца, тамбур и т. п.) и летних помещений, тип крыши, ориентацию жилых помещений, окон и входов, необходимость солнечной защиты и пылезащиты. А также конструктивные решения, использование местных строительных материалов, необходимую теплоза-

щиту для ограждающих конструкций, возможность использования альтернативных источников энергии. К таким природным и физико-климатическим факторам относятся: скорость и направление ветра, температура воздуха, его влажность, высота снежного покрова, глубина промерзания грунта, количество выпадающих осадков, солнечная радиация, количество солнечных и пасмурных дней в году [1, 21, 23].

В формировании климата солнечная радиация играет важную роль. При исследовании радиационного режима Ставропольского края была учтена **прямая, рассеянная и суммарная** солнечная радиация. Радиационный баланс зимой отрицательный, а во все остальные сезоны и за год – положительный. Усредненное по периодам года удельное значение поступления солнечной энергии за день на всей территории Ставропольского края показано в таблице (табл. 1) [1, 23, 24].

Таблица 1 – Поступление солнечной энергии в Ставропольском крае

Широта	Климатические зоны	Весна	Лето	Осень	Зима	Сред. за год
45°	B1, B2, B3	15,6	22,8	11,6	4,1	13,6

Эффект нагрева стен и помещений жилого дома от солнечной энергии и естественная вентиляция непосредственно зависят от ориентации здания и направления преобладающих ветров. Выбор правильной ориентации здания по сторонам света – один из правильных способов сохранения энергии. В Ставропольском крае ориентация жилого помещения в доме благоприятна, если она обеспечивает его инсоляцию не менее 2,5 ч в день на период с 22 марта по 22 сентября, это южная и восточная стороны горизонта (от 40° до 200°), а также северо-западная (от 290° до 320°); соответственно неблагоприятная ориентация – северная (320° – 40°) для всех климатических зон из-за отсутствия инсоляции и юго-западная (200° – 290°) для южных районов из-за перегрева [1, 22, 23].

В Ставропольском крае преобладающими являются воздушные массы континентального воздуха умеренных широт. Также сюда проникают холодные воздушные массы из Арктики и Казахстана, влажные массы воздуха из Атлантики и выносы тропического воздуха из Ирана и Средиземноморья. Наибольшую повторяемость в году имеют южные и юго-западные циклоны (до 43 %). В горных и предгорных районах возникает местная циркуляция. При горно-долинных ветрах днем воздух направляется из долины к горам, а ночью спускается с гор в долину. Черное море с запада является дополнительным источником увлажнения, Каспийское море с востока создает специфический микроклимат побережий. Хребты Большого Кавказа препятствуют продвижению холодных масс воздуха с севера на юг и усиливают выпадение осадков, создают выраженную вертикальную зональность климата. Ветровой режим региона отличается сильными ветрами (3-5 м/с летом, 5-10 м/с зимой), вызывающие зимой метели, а летом – пыльные бури и суховеи. Объем снегопереноса – 100 м³/пог. м, продолжительность метелей 50-100 часов, число дней с пыльными бурами 10-20 [1, 22, 23].

В формировании климата края имеют немаловажное значение рельеф, наличие сухих Калмыцких степей на севере и востоке и возвышающегося в центре края Ставропольского плато. Климат гор, предгорий и район ставропольских высот отличается от засушливого, летом жаркого, а зимой холодного климата степной зоны.

Восточная часть Ставропольского края, особенно в летнее время, отличается крайней сухостью, благодаря влиянию сухих северо-восточных ветров. Зимой эти ветры здесь бывают очень сильными и несут с собой холода. Летом в этой части края преобладает жаркая, сухая погода. Наличие над юго-западом Европейской части РФ отрога североазиатского антициклона обусловливает сухие северо-восточные ветры в восточных районах края. В связи с высокими температурами летом и низкими зимой, климат восточной части Ставропольского края отличается большой континентальностью, которая уменьшается к западу. Характерной особенностью климата края является наличие частых суховеев и засух, особенно в восточных районах края.

Анализ природно-климатических условий Ставрополья показал, что индивидуальное жилище необходимо защищать от следующих неблагоприятных природно-климатических

факторов: от холода, от перегрева, от ветра, от дождя, от пыльных бурь и должна быть солнцезащита. Влияние природно-климатических условий и факторов на формирование индивидуального жилища, их использование и приемы защиты от неблагоприятного воздействия в Ставропольском крае приведены в таблице (табл. 2) [22, 23].

В индивидуальных жилых домах основными потребителями невозобновляемых источников энергии являются приборы и оборудование, предназначенные для освещения, отопления, охлаждения (кондиционирования) и горячего водоснабжения. В целях сохранения энергии необходимо применять инженерные устройства или предусматривать необходимые мероприятия, снижающие потребление невозобновляемых источников энергии, и активно переходить к использованию альтернативных источников энергии для отопления и подогрева воды. Особая актуальность использования альтернативной энергии в Ставропольском крае для теплоснабжения зданий обусловливается тем, что эксплуатируются сезонные здания в теплый период года, когда теплопотребление минимально, а потенциал возобновляемых источников энергии максимален, а также тем, что размещение жилых зданий в санаторно-курортных зонах предъявляет жесткие экологические требования к теплогенерирующими установкам.

Таблица 2 – Влияние природно-климатических факторов на формирование жилища

Факторы, влияющие на комфортные условия жилого дома	Использование природно-климатических факторов	Способы защиты от неблагоприятных воздействий
<p>Степень компактности дома. Характер заполнения проемов. Количество входов в дом и их защита от внешней среды. Местоположение летних и подсобных помещений. Блокировка объемов по вертикали и горизонтали. Тип крыши. Размещение жилых помещений в структуре плана. Глубина и высота помещений. Расположение «теплового центра» в доме или помещении.</p>	<p>Устройство сквозного горизонтального и углового проветривания. Устройство вертикального проветривания (через шахты). Сезонная трансформация дома. Устройство теплиц и атриумов. Использование энергии солнца, ветра, грунта, подземных вод.</p>	<p>Тепловая защита наружных стен, кровли, ограждающих конструкций. Герметичное заполнение оконных и дверных проемов. Защита входов от внешней среды. Защита наружного ограждения от осадков. Солнечная защита открытых и остекленных проемов. Размещение жилых помещений на солнечные стороны горизонта. Объемно-планировочное решение дома.</p>

В качестве альтернативных источников энергии в мировой практике используют солнечную энергию, энергию ветра, геотермальную и гидротермальную энергии, энергию тепловых выбросов и фотосинтеза биомассы. Использование солнечной энергии в настоящее время – наиболее технологически доступный способ возобновляемой энергии. В Ставропольском крае более 50 % времени в году преобладают ясное небо и солнечная погода. Также в крае существуют подземные горячие источники, энергию которых можно использовать для отопления жилых зданий. Перспективным направлением, особенно в сельской местности, является использование энергии фотосинтеза, так как это позволит одновременно ликвидировать органические и неорганические отходы, которые в настоящее время представляют собой серьезную проблему с точки зрения охраны окружающей среды [1, 2, 5, 6, 15, 19, 24]. Результаты анализа природно-климатических условий Ставрополья с целью использования альтернативных источников энергии даны в таблице (табл. 3).

Конструктивные, архитектурно-планировочные и энергосберегающие решения современного индивидуального жилого дома традиционно учитывались в народном жилище. Формирование народного жилища, прежде всего, определяли природно-климатические условия, своеобразие культуры, традиции и уровень социально-экономического развития народа. Объемно-планировочное решение народного жилища во многом предопределялось энергосберегающими мероприятиями и приемами. В Ставропольском крае можно выделить три района, в которых типы жилища, методы их возведения и примененные строительные материалы отра-

жают определенные традиции и направления энергосбережения: равнинный, предгорный и горный. По Архитектурно-планировочным решениям в народном жилище Ставрополья можно выделить следующие виды домов: компактный дом и линейный [3, 6, 7, 18]. Компактные дома характерны для районов с более холодным климатом: землянка, казачий курень, изба, украинская хата, турлучный дом, деревянный сруб [4, 9, 13, 14]. Ориентация жилых комнат на юг для использования прямого солнечного обогрева помещений привела к созданию домов линейного вида (длинный дом, «*дом попerek*», крытый двор), распространенных в южных районах края [3, 6]. Архитектурно-планировочные и конструктивные решения каждого вида народного жилища взаимосвязаны, так как их основой является требование максимальной теплоизоляции: защиты от холода зимой, и от жары – летом. Энергосберегающие мероприятия и приемы в народном жилище Ставрополья даны в таблице (табл. 4) [23].

Таблица 3 – Возможное использование альтернативных источников энергии в климатических зонах

Вид энергии	Климатические зоны		
	B1	B2	B3
Солнечная	•	•	•
Ветра	•	•	•
Гидротермальная	•		
Тепловые выбросы	•	•	•
Фотосинтеза биомассы	•	•	•

Таблица 4 – Энергосберегающие мероприятия в народном жилище Ставрополья

Район строительства	Виды домов	Энергосберегающие мероприятия
Равнинный	Компактный: землянка, изба, казачий курень, украинская хата, турлучный дом, деревянный сруб.	Обваловка грунтом. Подклет препятствовал проникновению холода через пол. «Верхи» возводились из расщепленных пополам бревен, наружные стены обшивались плоскими деревянными рейками или брусками, промежутки между ними заполняли глиной. «Тепловой центр» – печь – в центре дома. Крыша покрывалась теплоизоляционным материалом – камышом или осиновым тесом, светлая окраска которым не позволяла крыше перегреваться. Карниз-навес и крыша, свисавшая над балюсником (узкий балкон, расположенный вдоль наружных стен), летом защищали дом от перегрева, зимой, осенью и весной от ветров, сырости и дождей. Тамбуры, маленькие окна. Благодаря летней кухне не было перегрева помещений.
Предгорный	Линейный: длинный дом, « <i>дом попerek</i> », крытый двор.	Ориентация жилых комнат на юг для использования солнечного тепла. Блокирование жилых комнат. Маленькие окна. «Тепловой центр» – очаг – в центре помещения. Галерея, пристроенная вдоль фасада, или широкий карниз-навес, замкнутый или полузамкнутый двор защищали помещения от перегрева летом, а зимой от холода.

Изучив мировой опыт современного энергосберегающего домостроения с пассивным использованием солнечной энергии, можно выделить следующие виды индивидуальных жилых домов: компактный, линейно-широтный, павильонный. Компактные жилые дома наиболее характерны для северных районов, они могут также применяться и в жарком сухом климате. К этому виду можно отнести заглубленные жилые дома. Благодаря теплоизолирующими свойствам грунта такое здание имеет энергетическую автономность. Линейно-широтные жилые дома – для южных районов, где используется прямой обогрев помещений. Важным элементом жилого дома является замкнутый или полузамкнутый двор, образованный жилыми и

хозяйственными постройками. Павильонный дом характерен для жаркого влажного климата. Вытянутый план, обилие террас и балконов обеспечивают усиленное сквозное проветривание. Кухни, прачечные выделяют в отдельный блок. Практически эти планировочные решения переплетаются, так как их основой является требование максимально комфортного микроклимата в жилых помещениях [3, 5, 6, 12, 23]. Классификация видов современных европейских домов по архитектурно-планировочной организации идентична классификации видов жилых домов в народном жилище на Ставрополье.

К началу 20-х годов 20-го века инженерами и учеными были разработаны различные воздушные и водяные солнечно-отопительные системы. Во второй половине 20-го века для накопления энергии используют солнечные коллекторы, которые своими архитектурно-конструктивными и технологическими решениями влияют на объемно-планировочную структуру индивидуального жилого дома [2, 6, 10, 11].

При анализе архитектурно-планировочной структуры народного жилища, также отечественных и мировых вариантов индивидуальных жилых домов с низким энергопотреблением были выявлены следующие энергосберегающие элементы, позволяющие экономить тепловую энергию путем сочетания их с основными помещениями: 1) форма плана, этажность; 2) коммуникационные помещения, тамбур; 3) пристроенные жилые помещения, веранда; 4) пристроенные подсобные помещения, кладовая, мастерская, гараж, теплица; 5) подвал, техническое подполье, цокольный этаж; 6) ставни, жалюзи, фонарь; 7) внутренний дворик, атриум; 8) отдельно стоящая летняя кухня; 9) дополнительный вид отопления: энергия солнца, ветра, сезонный нагрев воды (рис. 2).

Энергоэффективность проектного решения жилого дома оценивается уровнем удельного годового теплопотребления здания, отнесенного к 1 м² общей отапливаемой площади или 1 м³ объема отапливаемого помещения. При анализе оценки энергосбережения зданий автором были проанализированы отечественные и мировые методики оценки энергосбережения зданий в жарких и в суровых климатических условиях. В результате было установлено, что на данный момент в Ставропольском крае нет методик оценки энергосбережения здания, которые рассматривают теплоэнергетическую эффективность жилого дома в зависимости от его объемно-планировочного решения [22, 23].

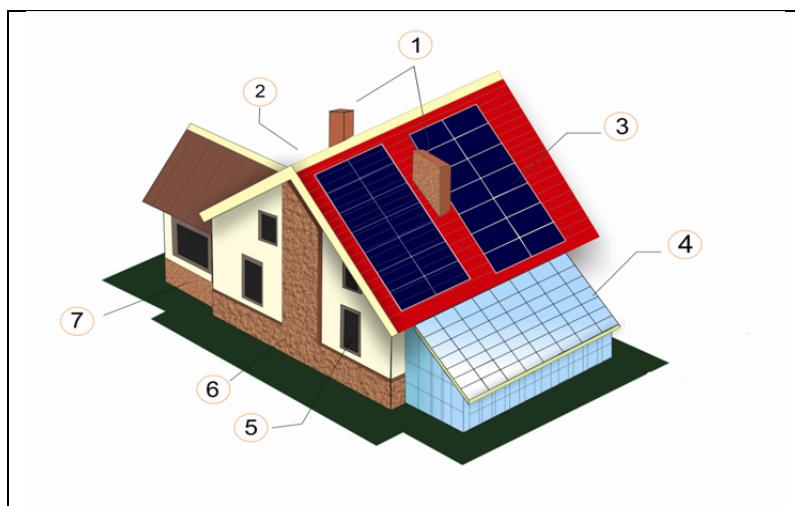


Рисунок 2 – Расположение элементов солнечной архитектуры в жилом доме

1 – утилизация тепла; 2 – теплая кровля; 3 – солнечные коллекторы; 4 – теплица (буферная зона);
5 – теплоэффективные окна; 6 – теплые стены; 7 – веранда (буферная зона)

3. Учет климатических условий Ставропольского края

Автором проведено исследование по установлению критериев домов с низким энергопотреблением для Ставропольского края. При этом рассматривались следующие строительно-конструктивные решения здания: площадь каждого помещения; площадь наружных стен;

площадь пола и потолка; площадь оконных и дверных проемов; площадь застройки; строительный объем здания, толщина и состав материалов наружных стен дома.

Тепловые потери в ДНЭ должны соответствовать требованиям СНиП и европейским стандартам ДНЭ. Точный учет климатических условий района строительства, позволит получить экономию энергии. Для того чтобы жилой дом удовлетворял требованиям энергосбережения, необходимо, чтобы общее сопротивление теплопередаче R_0 было не менее требуемого (минимально допустимого) сопротивления теплопередаче R_0^{TP} . Согласно СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» для каждой климатической зоны Ставропольского края рассчитано требуемое сопротивление теплопотерь ограждающих конструкций здания исходя из условий энергосбережения [7, 8, 10, 11, 12, 17]. Результаты расчетов указаны в таблице (табл. 5) [23].

Таблица 5 – Требуемое сопротивление наружных ограждающих конструкций дома

Климатическая зона и населенный пункт	Градусо-сутки отопительного периода (ГСОП)		R_0^{TP} (ГСПО)
	суточное	дневное	
B1 Красногвардейское	2936	164	2,26
B1 Пятигорск	3150	175	2,42
B2 Ставрополь	2991	169	2,3
B3 Арзгир	3021	166	2,33

Тепловые потери жилого здания зависят от его геометрических размеров. Теплотехнические свойства строительных и ограждающих конструкций, влияют на температуру внутреннего и наружного воздуха, а также на воздухопроницаемость швов, на площадь откосов оконных и дверных проемов, на открывающиеся части окон и дверей.

На основании исследований и расчетов выведена формула ДНЭ, которая связывает воедино геометрические и теплотехнические показатели жилого дома [23].

$$Q = S \cdot h \cdot q, Q = 70 \text{ кВтч}/\text{м}^2, \quad (1)$$

где Q – общие теплопотери жилого дома; S – общая площадь жилого дома; h – высота помещения; q – удельные теплопотери жилого дома [12, 17, 23].

Чтобы свести к минимуму потери тепла, расходы на отопление и кондиционирование, необходимо проектировать и строить ДНЭ согласно требованиям к архитектуре регионального ДНЭ. Частично теплопотери жилого дома через конструкции устраняются путем устройства «буферных зон»: теплицы – с юга; гараж, кладовая, веранда и другие подсобные помещения – с севера, запада или востока. Но, кроме всего этого, необходимо устраниить теплопотери через сами ограждающие конструкции. Для сохранения тепла в жилом доме с низким энергопотреблением надо обращать особое внимание на теплоэффективность конструкций окон, дверей и входного тамбура. Важно обеспечить необходимую теплозащиту и тепловую инерцию дома. При строительстве жилого дома с низким энергопотреблением желательно использовать утеплитель с большим сроком эксплуатации, равным сроку эксплуатации жилого дома. Принудительная вентиляция воздуха в жилом доме является полезным дополнением ДНЭ, так как расходы тепла на неконтролируемый воздухообмен сводят к нулю экономию энергии, полученную за счет надежной теплоизоляции. Эффект дает повторное использование тепла. Использованный воздух можно пропустить через теплообменник, который передает до 70 % полученного тепла холодному воздуху, поступающему снаружи здания [6, 7, 8, 11, 12].

Данные о применении энергосберегающих элементов в климатических зонах Ставропольского края сведены в таблицу (табл. 6) [23].

В качестве энергосберегающих элементов рассматриваются: 1) форма теплового контура; 2) блокировка помещений по горизонтали и по вертикали; 3) помещения создающие «буферную зону»: тамбур, веранда, холодная кладовая, мастерская, гараж, эксплуатируемый подвал, техническое подполье, погреб, теплица, летняя кухня [22, 23].

Для защиты окон от холода, ветра и перегрева устанавливаются ставни или жалюзи. Рассматривается применение дифференцированного (основного и дополнительного) отопле-

ния, применение и аккумулирование дополнительных источников энергии. Аккумуляторы энергии – грунт, камень, ветровые и солнечные батареи [6, 15, 17, 22, 23].

Таблица 6 – Применение энергосберегающих элементов в климатических зонах

Кли-мат. зона	Форма теплового контура	Этаж	Пристроенные помещения	Подвал, техническое подполье, цокольный этаж	Ставни, жалюзи	Летняя кухня	Вид дополнит. энергии
B1	Квадратная, прямоугольная	1 – 2	Кладовая, мастерская, гараж, теплица, веранда, тамбур	Рекомендовано	Рекомендовано	Рекомендовано	Солнца, гидротермальная
B2	Квадратная, прямоугольная	1 – 2	Кладовая, мастерская, гараж, теплица, веранда, тамбур, навес	Рекомендовано	Рекомендовано	Рекомендовано	Солнца, ветра
B3	Квадратная, прямоугольная	1 – 2	Кладовая, мастерская, гараж, теплица, веранда, тамбур, навес	Рекомендовано	Рекомендовано	Рекомендовано	Солнца

Заключение

Анализ народного жилища Ставропольского края, опыт отечественного и мирового энергосберегающего домостроения, исследование потенциала теплового контура и региональные требования позволили выявить основные принципы проектирования ДНЭ в Ставропольском крае [22, 23].

1. Дифференциация исходных данных по климатическим зонам края. Теплотехнический анализ ограждающих конструкций должен основываться на данных каждой конкретной климатической зоны края. В климатических зонах B2 и B3 особенно необходимо учитывать температурный и ветровой режимы в холодное время года. Во всех климатических зонах необходимо учитывать возможность перегрева помещений в летнее время.

2. Обязательный учет влияния природно-климатических факторов климатических зон края на компоновку объемно-пространственной формы дома.

3. Солнечная и ветровая ориентация жилого дома, оптимальная для каждой климатической зоны края. В климатических зонах – общие принципы ориентации в зависимости от розы ветров и широты местности.

4. Формирование непрерывного теплового контура индивидуального жилого дома (объемно-планировочной формы ограждающих конструкций) оптимального для каждой климатической зоны. Теплового контура жилого дома должна быть компактной формы.

5. У теплового контура жилого дома должна быть эффективная теплоизоляция. Использовать для ограждающих конструкций материалы с низким коэффициентом теплоотдачи. Общие теплопотери ДНЭ должны соответствовать 70 кВтч/м² и не должны превышать.

6. Создание качественной структуры непрерывного теплового контура жилого дома зависит от стен, проемов дверей и окон, стыков конструкций и других элементов здания.

7. Возведение «буферных», промежуточных объемов (тамбур, крыльцо, веранда, кладовые, мастерская, гараж, теплица и т. п.) между тепловым контуром жилого дома и окружающей средой.

8. Применяется тепловое зонирование внутреннего пространства жилого дома. Это отапливаемые помещения – общая комната, спальни, кабинет, столовая, кухня, санузлы и т.п. находятся в центре дома. Помещения внутреннего расположения с более низкой температурой воздуха – кладовые, мастерская, тамбур, они входят в тепловой контур жилого дома.

9. В жилом доме использование альтернативных, возобновляемых источников энергии: солнечной, ветровой, энергии грунта, а в сельской местности – использование метана, полученного в результате анаэробного (без участия кислорода) сбраживания.

10. Сезонное обеспечение горячей водой посредством солнечной энергии в летнее время года.

11. Устройство инженерных систем пассивного сбора и аккумулирования (суточного и сезонного) солнечной энергии в жилом доме.

12. Устройство инженерных систем регулируемого воздухообмена (возвращение тепла воздуха, рекуперация воздуха) при вентиляции помещений жилого дома.

13. Структурирование инженерных систем: установка основных и дополнительных систем жизнеобеспечения жилого дома.

14. Общее применение комплексных систем инженерного оборудования жилого дома в соответствии с особенностями температурного и ветрового режимов конкретной климатической зоны: энергетическая взаимосвязь инженерных систем (отопление – вентиляция, отопление – подача горячего водоснабжения для мытья).

15. Возможность управления и регулирования отопительных устройств и систем жилого дома.

16. Применение комплексно-интегрированной компьютерной системы управления и контроля инженерными устройствами и системами жилого дома (умный дом) в целях оптимизации и экономии затрачиваемой энергии.

17. Применение современные энергосберегающие и энергоэффективные технологии экологичный и экономичный дом. ДНЭ, не загрязняя окружающую среду, становится практически безотходным.

18. Необходимо применение рассматриваемого направления – «зеленая», экоустойчивая архитектура и строительство. Экологические стандарты и сертификация. В настоящее время «зеленая» сертификация стала настолько популярной, что экологические стандарты стали обязательными для многих типов зданий в разных странах мира.

Данное научное исследование имеет большую практическую ценность для индивидуальных застройщиков и проектно-строительных предприятий, так как:

– проектирование и строительство жилых домов с низким энергопотреблением даст возможность резко сократить энергозатраты в процессе эксплуатации ДНЭ, а также при производстве строительных материалов для индивидуальных жилых домов;

– появится возможность экономить строительные материалы и энергетические средства в государственном масштабе для семьи желающей построить свой индивидуальный жилой дом;

– позволит сохранить окружающую среду с точки зрения экологии [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Архитектура и климат Южно-Российского региона: Учеб. пособие для вузов [Текст] / Под ред. Л.П. Шевченко. – Ростов н/Д. : Рост. гос. арх. ин-т, 1998. – 183 с.
2. Афанасьева, О.К. Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии: автореф. дис. ... канд. архитектуры: 18.00.02 / Афанасьева Ольга Константиновна. – М., 2009. – 20 с.
3. Бударин, Е.Л. Архитектурный облик индивидуального жилищного строительства в городе (на примере Ставрополя) [Текст] / Е.Л. Бударин // Монтажные и специальные работы в строительстве. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал. – 2013. – №1 (849). – С. 20-24.
4. Бударин, Е.Л. Архитектура загородного индивидуального жилища, его типы и развитие на юге России [Текст] / Е.Л. Бударин // Строительство и реконструкция. – Орел: ГУ-УНПК. – 2013. – №1 (45) (январь-февраль). – С. 47-56.
5. Бударин, Е.Л. Архитектура и развитие индивидуального жилища на Северном Кавказе [Текст] / Е.Л. Бударин // Научная монография. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken 2013. – 120 с. // URL: <http://lap-publishing.com/extern/listprojects>.
6. Кобычев, В.П. Поселения и жилища народов Северного Кавказа в XIX–XX вв. [Текст] / В.П. Кобычев. – М., 1982. – 194 с.

7. Лазарев, А. Г. Традиционное народное жилище донских казаков – казачий курень [Текст] / А. Г. Лазарев. – Ростов н/Д.: ООО ИЦ «Булат», 1998. – 224 с.
8. Методические указания для самостоятельной работы студентов к курсовому и дипломному проектированию «Тепловая защита зданий» / Сост. Л.В. Карасева, С.А. Геппель. – Ростов-на-Дону: ИАрхИ ЮФУ, 2010. – 51 с.
9. Милашечкина, О. Н. Энергосберегающие здания [Текст] / О.Н. Милашечкина, И.К. Ежова. – Саратов.: СГТУ, 2006. – 75 с.
10. Молчанов, В.М. К вопросу строительства экодомов и экопоселений в Южно-Российском регионе. Сибирская архитектурно-художественная школа [Текст] / В.М. Молчанов, Т.Е. Фомина; под ред. Е.Н. Лихачева // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (г. Новосибирск, 12 марта 2001). – Новосибирск: Агентство «Сибиринт», 2001. – С. 52-54.
11. Молчанов, В.М. Архитектура жилых комплексов в условиях Юга России [Текст] / В.М. Молчанов, Г.А. Трухачева, Л.А Солодилова. – Ростов-на-Дону.: АПСН СКНЦ ВШ ЮФУ, 2009.
12. Наседкин, В.В. Анализ ограждающих конструкций зданий исходя из современных нормативных требований теплозащиты [Текст] / В.В. Наседкин // Арх. наследие Юга России. – Ростов н/Д., 1997.
13. Огородников, И.А. Экодом в Сибири. Обзор литературы, оригинальные разработки, рекомендации специалистов [Текст] / И.А. Огородников, О.Н. Макарова, Е.С. Дубынина. – Иса-Сибирь, Новосибирск, 2000. – 76 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecoclub.nsu.ru/books/econom/cont.html>.
14. Пьяченко, Е.В. Архитектура и градостроительство Подонья до XVIII в. [Текст] / Е.В. Пьяченко. – Ростов н/Д.: РАИ, 1993. – 114 с.
15. Сабади, П.Р. Солнечный дом [Текст] / П. Р. Сабади. – М.: Стройиздат, 1981. – 56 с.
16. СНиП 23-01-99 Строительная климатология [Текст]. – М., 2003.
17. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. – М., 2004.
18. Сулименко, С. Д. Учет региональных особенностей исторических типов казачьего жилища в архитектуре малоэтажной городской застройки [Текст] / С.Д. Сулименко, А.М. Бучка. – Ростов н/Д.: РИСИ, 1985. – С. 62-73.
19. Табунщиков, Ю.А. Энергоэффективные здания [Текст] / Ю.А. Табунщиков, М.М. Бродач, Н.В. Шилкин. – М.: АВОК – ПРЕСС, 2003. – 100 с.
20. Умнякова, Н.П. Как сделать дом теплым [Текст] / Н.П. Умнякова. – М.: Стройиздат, 1996. – 367 с.
21. Фомина, Т.Е. К вопросу о природно-климатическом районировании в Южно-Российском регионе [Текст]. Архитектура. Строительство, Дизайн / Т.Е. Фомина // Материалы XV научно-практической конференции РААИ. – Ростов н/Д : Рост. гос. ин-т архит. и иск-ва, 2003. – С. 120, 121.
22. Фомина, Т.Е. Традиции Энергосбережения в народном жилище юга России. Сибирская архитектурно-художественная школа [Текст] / Т. Е. Фомина // Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Новосибирск, 16 марта 2003); под ред. Е. Н. Лихачева. – Новосибирск: Агентство «Сибиринт», 2003. – С. 74.
23. Фомина, Т.Е. Особенности архитектурной организации жилища с низким энергопотреблением в условиях Южно-российского региона [Текст] / Т.Е. Фомина // Вестник ТГАСУ. – Томск: Изд-во ТГСУ. – 2008. – №3. – С. 53-66.
24. Энергоактивные здания [Текст] / Н.П. Селиванов, А.И. Мелуа, С.В. Зоколей [и др.]; под ред. Э.В. Сарнацкого и Н.П. Селиванова. – М.: Стройиздат, 1988. – 376 с.

Бударин Евгений Леонидович

Северо-Кавказский федеральный университет, г. Ставрополь

Доцент кафедры «Дизайн»

E-mail: budarin_@mail.ru

E. BUDARIN

CLIMATIC FEATURES OF THE ARCHITECTURAL SHAPING OF THE POWER EFFECTIVE INDIVIDUAL DWELLING IN THE MODERN CONDITIONS OF THE STAVROPOL TERRITORY

Results of research on definition of scientifically reasonable principles and recommendations for design of modern power effective individual houses are stated. Climatic conditions and the factors that influence on thermal balance of the building and forming architecture of the individual dwelling are studied. Influence of regional climatic conditions on the architectural and planning organization of the one-family dwelling of various types is considered. Development of scientific recommendations for design of individual houses with low power consumption is given. The map with specification of climatic division into districts of the Stavropol territory is applied. By consideration of climate of its flat territory three local climatic zones were allocated: the western zone (B1), zone of Stavropol (B2), the east zone (B3).

Keywords: power effective house; architectural Shaping; traditional house; climatic zones; thermal contour; alternative energy sources; power consumption.

BIBLIOGRAPHY

1. Arhitektura i klimat Juzhno-Rossijskogo regiona: Ucheb. posobie dlja vuzov [Tekst] / Pod red. L.P. Shevchenko. – Rostov n/D. : Rost. gos. arh. in-t, 1998. – 183 s.
2. Afanas'eva, O.K. Arhitektura malojetazhnyh zhilyh domov s vozobnovljajemymi istochnikami jenergii: avtoref. dis. ... kand. arhitektury: 18.00.02 / Afanas'eva Ol'ga Konstantinovna. – M., 2009. – 20 s.
3. Budarin, E.L. Arhitekturnyj oblik individual'nogo zhilishhnogo stroitel'stva v gorode (na primere Stavropolja) [Tekst] / E.L. Budarin // Montazhnye i special'nye raboty v stroitel'stve. Ezhemesjachnyj nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal. – 2013. – №1 (849). – S. 20-24.
4. Budarin, E.L. Arhitektura zagorodnogo individual'nogo zhilishha, ego tipy i razvitiye na juge Rossii [Tekst] / E.L. Budarin // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: GU-UNPK. – 2013. – №1 (45) (janvar'-fevral'). – S. 47-56.
5. Budarin, E.L. Arhitektura i razvitiye individual'nogo zhilishha na Severnom Kavkaze [Tekst] / E.L. Budarin // Nauchnaja monografija. – LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrucken 2013. – 120 s. // URL: <http://lap-publishing.com/extern/listprojects>.
6. Kobychev, V.P. Poselenija i zhilishha narodov Severnogo Kavkaza v XIX–XX vv. [Tekst] / V.P. Kobychev. – M., 1982. – 194 s.
7. Lazarev, A. G. Tradicionnoe narodnoe zhilishhe donskih kazakov – kazachij kuren' [Tekst] / A. G. Lazarev. – Rostov n/D.: OOO IC «Bulat», 1998. – 224 s.
8. Metodicheskie ukazanija dlja samostojatel'noj raboty studentov k kursovomu i diplomnomu proektirovaniyu «Teplovaja zashhita zdanij» / Sost. L.V. Karaseva, S.A. Geppel'. – Rostov-na-Donu: IArhi JuFU, 2010. – 51 s.
9. Milashechkina, O. N. Jenergosberegajushchie zdaniya [Tekst] / O.N. Milashechkina, I.K. Ezhova. – Saratov.: SGTU, 2006. – 75 s.
10. Molchanov, V.M. K voprosu stroitel'stva jekodomov i jekoposelenij v Juzhno-Rossijskom regione. Sibirskaia arhitekturno-hudozhestvennaja shkola [Tekst] / V.M. Molchanov, T.E. Fomina; pod red. E.N. Lihacheva // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (g. Novosibirsk, 12 marta 2001). – Novosibirsk: Agentstvo «Sibirint», 2001. – S. 52-54.
11. Molchanov, V.M. Arhitektura zhilyh kompleksov v uslovijah Juga Rossii [Tekst] / V.M. Molchanov, G.A. Truhacheva, L.A Solodilova. – Rostov-na-Donu: APSN SKNC VSh JuFU, 2009.
12. Nasedkin, V.V. Analiz ogranichajushhih konstrukcij zdanij ishodja iz sovremennyh normativnyh trebovaniy teplozashchity [Tekst] / V.V. Nasedkin // Arh. nasledie Juga Rossii. – Rostov n/D., 1997.
13. Ogorodnikov, I.A. Jekodom v Sibiri. Obzor literatury, original'nye razrabotki, rekomendacii specialistov [Tekst] / I.A. Ogorodnikov, O.N. Makarova, E.S. Dubynina. – Isar-Sibir', Novosibirsk, 2000. – 76 s. [Jelektronnyj resurs]. – URL: <http://www.ecoclub.nsu.ru/books/econom/cont.html>.
14. P'javchenko, E.V. Arhitektura i gradostroitel'stvo Podon'ja do XVIII v. [Tekst] / E.V. P'javchenko. – Rostov n/D.: RAI, 1993. – 114 s.
15. Sabadi, P.R. Solnechnyj dom [Tekst] / P. R. Sabadi. – M.: Strojizdat, 1981. – 56 s.
16. SNiP 23-01-99 Stroitel'naja klimatologija [Tekst]. – M., 2003.
17. SNiP 23-02-2003. Teplovaja zashhita zdanij [Tekst]. – M., 2004.
18. Sulimenko, S. D. Uchet regional'nyh osobennostej istoricheskikh tipov kazach'ego zhilishha v arhitekture malojetazhnoj gorodskoj zastrojki [Tekst] / S.D. Sulimenko, A.M. Buchka. – Rostov n/D.: RISI, 1985. – S. 62-73.
19. Tabunshhikov, Ju.A. Jenergoeffektivnye zdaniya [Tekst] / Ju.A. Tabunshhikov, M.M. Brodach, N.V. Shilkin. – M.: AVOK – PRESS, 2003. – 100 s.
20. Umnjakova, N.P. Kak sdelat' dom teplym [Tekst] / N.P. Umnjakova. – M.: Strojizdat, 1996. – 367 s.
21. Fomina, T.E. K voprosu o prirodno-klimaticeskem rajonirovaniyu v Juzhno-Rossijskom regione [Tekst]. Arhitektura. Stroitel'stvo, Dizajn / T.E. Fomina // Materialy XV nauchno-prakticheskoy konferencii RAAI. – Rostov n/D.: Rost. gos. in-t arhit. i isk-va, 2003. – S. 120, 121.
22. Fomina, T.E. Tradicii Jenergosberezhenija v narodnom zhilishhe juga Rossii. Sibirskaia arhitekturno-hudozhestvennaja shkola [Tekst] / T. E. Fomina // Materialy Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii (Novosibirsk, 16 marta 2003); pod red. E. N. Lihacheva. – Novosibirsk: Agentstvo «Sibirint», 2003. – S. 74.
23. Fomina, T.E. Osobennosti arhitekturnoj organizacii zhilishha s nizkim jenergotrebleniem v uslovijah Juzhno-rossijskogo regiona [Tekst] / T.E. Fomina // Vestnik TGASU. – Tomsk: Izd-vo TGSU. – 2008. – №3. – S. 53-66.
24. Jenergoaktivnye zdaniya [Tekst] / N.P. Selivanov, A.I. Melua, S.V. Zokolej [i dr.]; pod red. Je.V. Sar-nackogo i N.P. Selivanova. – M.: Strojizdat, 1988. – 376 s.

E. Budarin

North Caucasus federal university, Stavropol
Associate professor of the department «Design»
E-mail: budarin_@mail.ru

ПИЛИПЕНКО О.В., БАКАЕВА Н.В., МАТЮШИН Д.В.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЯ БИОСФЕРНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ ОБЪЕКТОВ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА (НА ПРИМЕРЕ УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ)

Разработан новый подход к оценке экологической безопасности объектов транспортного строительства на основе показателя биосферной совместимости урбанизированной территории. Предложены интегральные показатели состояния биосфера и объема загрязняющих веществ при воздействии на окружающую среду транспортных объектов. Выполнены численные исследования показателя биосферной совместимости на примере элементов улично-дорожной сети г. Орла.

Ключевые слова: экологическая безопасность; биосферная совместимость; объекты транспортного строительства; придорожная территория; интегральная оценка.

Озабоченность ухудшением экологической обстановки в городах и на урбанизированных территориях и его долгосрочными последствиями превратилась в одну из важнейших тем в вопросах развития современного общества. Деградация окружающей природной среды влияет на качество жизни населения, на темпы экономического и социального развития, но прежде всего она сказывается на состоянии здоровья человека и его генетическом фонде. Одним из наиболее значимых направлений решения данной проблемы является снижение загрязнения окружающей среды выбросами от объектов транспортного строительства (OTC), ежегодный ущерб от негативного воздействия которых оценивается в 5-7 млрд. у.е. [1].

В настоящее время обеспечение заданного уровня экологической безопасности от OTC реализуется соблюдением требований целого ряда действующих правовых и нормативных документов. В основе этих документов лежит концепция нормирования загрязняющих веществ и мониторинга окружающей среды, основанная на сравнении концентраций поллютантов в различных объектах экосистемы и выбросах от предприятий и от двигателей внутреннего сгорания с предельно допустимыми концентрациями (ПДК).

Развитие этого традиционно сложившегося для нашей страны и большинства стран мира концептуального подхода осуществляется, как правило, за счет ужесточения требований нормативно-правовой базы в области природоохранного законодательства. В связи с этим к настоящему времени установленные в Российской Федерации нормативы ПДК по качеству таких составляющих окружающей среды как вода, воздух, почва остаются одними из самых жестких в мире. В тоже время, приходится констатировать, что существующий уровень нормативных требований в России не имеет прямого действия на уровень экологической безопасности территорий.

Концептуальной основой решения задачи регулирования техногенных нагрузок на экосистему города от воздействия объектов транспортного строительства может служить новая мировоззренческая парадигма биосферной совместимости поселений, предложенная Российской академией архитектуры и строительных наук и базирующаяся на теории гомеостатического взаимодействия природы, общества и человека [2].

Предложенные РААСН методики [3, 4] количественной оценки обобщенного параметра биосферсовместимости (η), характеризующего степень загрязненности городской среды в сопоставлении с ассимиляционным потенциалом биосфера, и интегрального показателя реализации функций города (ξ), характеризующего территориальную, временную и персональную доступность функций города через конкретные их составляющие, были апробированы на примерах генплана г. Орла, объектов его производственной и транспортной инфраструктуры. В работе [5] показатель биосферной совместимости урбанизированной территории предложен в качестве критерия экологической безопасности автотранспортной инфраструктуры город-

ского хозяйства, учитывающий балансовые соотношения между фактическими параметрами биосфера и техносфера, обусловленной воздействиями автотранспортных предприятий. Формализованный общий вид показателя биосферной совместимости представлен в виде следующего коэффициента:

$$\eta_{ATC} = \sum_k \sum_i [(B_{ik} - Z_{ik})], \quad (1)$$

где B_{ik} – количественный интегральный индикатор состояния биосферы при воздействии на нее k -х элементов автотранспортной инфраструктуры в виде некоторого относительного показателя, стандартизированного в виде числовых значений от нуля (минимальное) до единицы (максимальное); Z_{ik} – количественное значение объема i -х загрязняющих веществ (ЗВ), образующихся от воздействия k -х элементов автотранспортной инфраструктуры с максимальными концентрациями, допускающими развитие (МКДР) урбанизированных территорий. Представляется в виде интегрального показателя – индекса, стандартизированного в виде числовых значений от нуля (минимальное) до единицы (максимальное).

Расчетная зависимость (1) будет справедлива, если при сопоставлении показателей состояния биосферы и объема загрязняющих веществ заведомо выполняется условие: $B_{ik} > Z_{ik}$. В этом случае можно говорить о воздействии на биосферу техногенных источников, не превышающих допустимых значений, установленных действующими нормативными требованиями. Если имеет место неравенство $B_{ik} \leq Z_{ik}$, то уровень воздействия на окружающую среду является опасным и нуждается в каких-либо ограничениях. Более того, сложившуюся экологическую ситуацию можно признать катастрофической.

Тогда, для объектов транспортного строительства показатель биосферной совместимости урбанизированной территории, как интегральный показатель состояния придорожной территории, тоже можно считать относительной величиной, и его значение может быть стандартизовано в интервале $0 \leq \eta \leq 1$. При приближении значения показателя биосферной совместимости к единице предполагаем, что обеспечивается экологически безопасное состояние территории, находящейся в зоне влияния автомобильной дороги, и имеет место ее прогрессивное развитие, а в случае приближения к нулю – имеет место регressive развитие, т.е. неспособность нейтрализовывать вредные воздействия и загрязнения природной среды, формируемые объектами транспортного строительства.

Количественный интегральный индикатор состояния биосферы при воздействии на нее k -х элементов ОТС B_{ik} определяется по формуле:

$$B_{ik} = \frac{K_{ik}}{\Delta M_{ik}} \cdot F_{o_3} \cdot \xi_{ik}, \quad (2)$$

где K_{ik} – коэффициент, характеризующий количество ЗВ, утилизируемых 1 га биосферы, т/сут.; $\Delta M_{ik} = M_i - M_{эталон}$ – количественное значение разности фактического объема i -х ЗВ от k -х элементов ОТС и объема ЗВ, не нарушающего экологически безопасного состояния территории, находящейся в зоне влияния ОТС, и обеспечивающего уровень МКДР территорий в соответствии с нормативными требованиями, т/сут.; ξ_{ik} – коэффициент однородности биосферы, учитывающий различные интенсивности выбросов и возможность привидения их к одному источнику; F_{o_3} – площадь озеленения территории, га.

В свою очередь, количественное значение объема i -х загрязняющих веществ, образующихся от воздействия k -х элементов ОТС, рассчитывается по формуле:

$$Z_{ik} = P_{oyk} \cdot \chi_{ik} \cdot m_{ik} \cdot K_c \cdot K_{o_3} \cdot K_{on}, \quad (3)$$

где P_{oyk} – показатель уровня опасности территории, находящейся в зоне влияния k -х элементов ОТС; χ_{ik} – количество элементов ОТС, создающих загрязнение на рассматриваемой территории (например, автомобильные перегоны, автозаправочные станции, станции технического обслуживания, мойки, стоянки и др.); m_{ik} – коэффициент снижения выбросов i -го ЗВ от воздействия k -го элемента ОТС в результате осуществления природоохранных мероприятий; K_c – коэффициент, зависящий от наличия нескольких источников загрязнения в радиусе сани-

тарного разрыва автомобильной дороги и учитывающий синергетический эффект; $K_{\text{зз}}$ – коэффициент экологической значимости территории, находящейся в зоне влияния k -х элементов ОТС; $K_{\text{он}}$ – коэффициент, отражающий уровень опасности территории, обусловленный синергетическим воздействием загрязняющих веществ.

Показатель уровня экологической опасности территории, находящейся в зоне влияния k -х элементов ОТС, $P_{\text{оу}k}$ является относительным показателем. Дает представление об экологической ситуации, сложившейся под воздействием вредных компонентов отработавших газов автомобильного потока. Оценивается исходя из количества выбросов ЗВ по отношению к их предельно допустимым значениям (нормативным требованиям). Может быть определен по формуле:

$$P_{\text{оу}k} = \frac{S_{\text{оу}_{\text{факт}}}}{S_{\text{оу}_{\text{эталон}}}}, \quad (4)$$

где $S_{\text{оу}_{\text{факт}}}$ – результат оценки экологической ситуации в зоне влияния k -ого элемента ОТС (автомобильной дороги), полученный в ходе анализа фактического количества выбросов:

$$S_{\text{оу}_{\text{факт}}} = \left[\sum_1^p \sum_1^d \left(\frac{M_i}{\text{ПДК}_i} \right) \right], \quad (5)$$

где p – количество автомобилей в потоке; d – количество примесей в отработавших газах автомобиля; M_i – количество выбросов i -го ЗВ в отработавших газах автомобилей, образующееся при интенсивности движения N автомобилей, мг/с; ПДК $_i$ – среднесуточная ПДК i -го ЗВ в атмосфере населенного пункта, мг/м³.

Массовый выброс загрязняющих веществ автотранспортным потоком при движении по территории населенных пунктов M_i (т/год) рассчитывается по формуле:

$$M_i = m_{1iv} \cdot L_{1v} \cdot K_{ri} \cdot K_{ti} \cdot 10^{-6} + m_{2igs} \cdot L_{2gs} \cdot K_{ris} \cdot K_{tis} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6} + \\ + K_p \cdot m_{3ims} \cdot L_{3ms} \cdot K_{ris} \cdot K_{nis} \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

где m_{1iv} , m_{2igs} , m_{3ims} – пробеговый выброс i -го загрязняющего вещества легковым автомобилем v -го рабочего объема, грузовым автомобилем g -й грузоподъемности и автобусами m -го класса с двигателем s -го типа соответственно, г/км; L_{1v} , L_{2gs} , L_{3ms} – суммарный годовой пробег легковых автомобилей v -го рабочего объема, грузовых автомобилей g -й грузоподъемности и маршрутных городских автобусов m -го класса с двигателем s -го типа по территории населенных пунктов соответственно, км; K_{ri} , K_{ris} – коэффициент, учитывающий изменение выбросов ЗВ при движении по территории населенных пунктов; K_{ti} , K_{tis} – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс i -го ЗВ; K_{nis} – коэффициент, учитывающий изменение пробегового выброса от уровня использования грузоподъемности и пробега грузового автомобиля, а также от вида перевозок и типа двигателя автобуса; K_p – коэффициент, учитывающий изменение выбросов ЗВ при движении маршрутных городских автобусов по территории населенных пунктов.

Для веществ, обладающих суммацией вредного воздействия, суммарная относительная концентрация в атмосфере на внешних границах резервнотехнологической, санитарно-защитной полос и зоны влияния дороги не должна превышать единицы.

С этих позиций для комплексной оценки транспортного загрязнения придорожной полосы рассчитывается коэффициент $K_{\text{он}}$, который представляет собой средневзвешенный показатель отношения суммы фактических или расчетных значений уровня загрязнения (с учетом степени опасности загрязняющего вещества) к сумме ПДК по всем загрязняющим веществам, определяемый из соотношения:

$$K_{\text{он}} = \frac{C_1}{\text{ПДК}_1} + \frac{C_2}{\text{ПДК}_2} + \dots + \frac{C_n}{\text{ПДК}_n}, \quad (7)$$

где C_1, C_2, \dots, C_n – фактическое или расчетное значение концентрации загрязняющих веществ, $\text{мг}/\text{м}^3$; $\text{ПДК}_1, \text{ПДК}_2, \dots, \text{ПДК}_n$ – предельно-допустимые концентрации загрязняющих веществ, $\text{мг}/\text{м}^3$.

Численные исследования показателя биосферной совместимости объектов транспортного строительства были выполнены применительно к улично-дорожной сети г. Орла. Орел является крупным узлом автомобильного транспорта и имеет развитую улично-дорожную сеть (УДС). УДС города характеризуется четырьмя классами существующих магистральных улиц в виде обеездной автодороги, главных общегородских магистралей, городских магистральных улиц и магистральных улиц районного значения. В характеристике УДС города наблюдается сложность структуры при общем количестве ее элементов более 550 (включая шоссе, улицы, переулки, площади). Плотность магистральной УДС в пределах селитебной застройки составляет 1,9 км на км^2 , средняя ширина улиц – составляет 28 м, а ширина проезжих частей колеблется от 7 до 18 м. Территория, занимаемая улицами, дорогами и площадями в пределах освоенной территории составляет 584 га или занимает 20% от размеров урбанизированной территории. Общая протяженность улично-дорожной сети – около 130 км [6].

В ходе экспериментальных исследований УДС и движущего по ее элементам транспортного потока стояла задача определения следующих параметров:

N_{AT} – часовая интенсивность потока автотранспортных средств на перегоне, авт./ч;

$Q_{e,авт}, Q_e, Q_{авт}$ – доля в потоке грузовых автомобилей и автобусов, только грузовых автомобилей, только автобусов соответственно, %;

V – скоростной режим движения транспортного потока, $\text{км}/\text{ч}$;

N_{AT}' – число автотранспортных средств, остановившихся за час на перекрестке, авт./ч;

$Q'_{e,авт.}, Q'_e, Q'_{авт.}$ – доля в N_{AT}' грузовых автомобилей и автобусов, только грузовых автомобилей, только автобусов соответственно, %;

l – ширина проезжей части, м;

s – длина перегона, м;

α – величина продольного уклона, %;

P – пропускная способность участка УДС, авт./ч.

Измерения проводились на элементах УДС (дорогах магистрального значения и улицах местного значения) в течение светового времени суток. Были выявлены часы пик, когда интенсивность движения автотранспортных средств и их воздействие на природную среду являются максимальными: 8⁰⁰-10⁰⁰ ч утра и 17⁰⁰-19⁰⁰ ч вечера в будние дни. Замеры осуществлялись в январе, апреле, июне, июле, сентябре, октябре, декабре календарного года, охватывая теплый и холодный периоды года. Была сформирована выборка из перегонов на 20 улицах города, пересекающих его в различных направлениях селитебной территории (табл. 1). В составе выборки 10 участков УДС были обследованы в 2008 г., в 2013 г. было проведено дополнительное обследование, а по еще 10 участкам полученные данные были уточнены и дополнены замерами, проведенными в 2012 и 2013 гг., ввиду не только увеличения транспортных потоков, но и их перераспределения.

Распределение интенсивности движения автотранспортных средств по элементам УДС г. Орла в течение времени суток приведены на рисунке 1.

Анализ результатов мониторинга позволил сделать следующие общие выводы. Так, в «часы пик» на 57% исследуемых улиц г. Орла значение интенсивности транспортного потока составляет более 1000 авт./ч и более 15 тыс. авт./сут. Более того, приблизительно на 10% улиц (центральные и / или примыкающие к ним) $N_{AT} \geq 2500 \div 3000$ и более авт./ч. Доля грузовых автомобилей и автобусов в потоке, в зависимости от участка автодороги, составляет до 36%, в том числе $Q_{e,авт.}$ – до 11%, $Q_{авт.}$ – до 25%. Скоростной режим меняется от 30 до 60 $\text{км}/\text{ч}$.

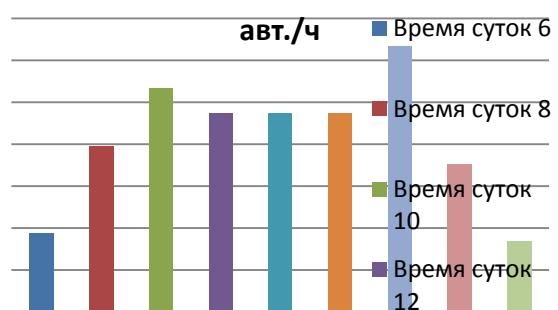
Таблица 1 – Данные об интенсивности движения автотранспортных средств по элементам УДС г. Орла (по результатам мониторинга 2008-2013 гг.)

№ п/п	Наименование элемента УДС – перегона	Среднее значение интенсивности движения в утренний час пик, N_{AT} авт./ч (данные 2008 г.)	Среднее значение интенсивности дви- жения в вечерний час пик, N_{AT} авт./ч (данные 2013 г.)	Среднее значе- ние пропускной способности, P авт./ч (данные 2013 г.)
1	ул. Комсомольская: перегон от ул. Автовокзальная до пер. Дарвина	2 304	2 592	829
2	ул. Московская: перегон от ул. Стромосковская до ул. Ляшко	2 928	2 568	1 054
3	ул. 1-я Посадская: перегон от ул. Комсомольская до ул. Брестская	2 948	3 132	1 126
4	Наугорское шоссе: перегон от ул. Генерала Родина до ул. Образцова	1 116	1 884	464
5	ул. 1-я Курская: перегон от ул. 5-го Августа до пер. Речной	1 740	1 296	360
6	ул. Октябрьская: перегон от ул. Красноармейская до ул. 60 лет Октября	1 604	1 776	368
7	ул. Гагарина: перегон от ул. Р. Люксембург до ул. Нормандия Неман	1 664	1 260	344
8	ул. Паровозная: перегон от ул. Московское шоссе до пер. Южный	1 313	1 020	338
9	ул. Металлургов: перегон от ул. Московское шоссе до ул. Раздольная	1 412	1 328	347
10	Карабевское шоссе: перегон от ул. Комсомольская до ул. Васильевская	1 152	1 080	388
11	ул. Московское шоссе: перегон от микрорайона «Прокуровка» до пер. с ул. Михайлицына	2 670	3 254	1 188
12	ул. Спивака	1 416	1 560	383
13	ул. Наугорское шоссе – перегон от магазина «Европа» до ост. «Госуниверситет – УНПК»	1 793	1 686	441
14	ул. Наугорское шоссе – перегон от перекрестка с ул. Лескова до перекрестка с ул. Генерала Родина	1 596	2 070	484
15	Карабевское шоссе	1 488	1 572	388
16	ул. Михайлицына	1 594	1 822	655
17	Кромское шоссе	1 932	1 788	695
18	ул. Лескова	1 512	1 634	406
19	ул. Герцена – Герценский мост	3 267	3 504	1 261
20	ул. Тургенева	1 838	1 632	380

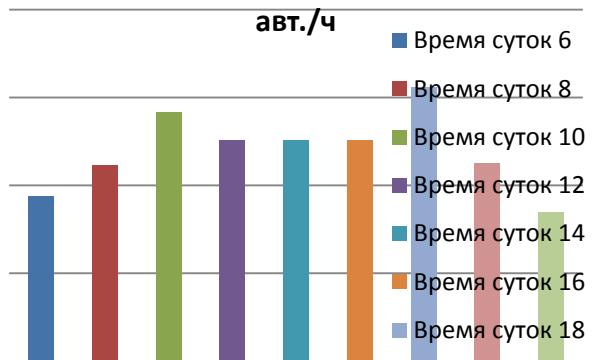
Для примера расчета показателя биосферной совместимости урбанизированной территории (придорожной территории) был выбран перегон по ул. Октябрьской от ул. Красноармейской до ул. 60 лет Октября. Длина перегона $s = 391$ м, площадь земельного участка $F_{yu} = 2,15$ га, площадь озеленения $F_{oz} = 1,08$ га. В ходе экспериментальных исследований были определены следующие параметры транспортного потока: часовая интенсивность движения автотранспортных средств на перегоне $N_{AT} = 1776$ авт./ч, доля в потоке грузовых автомобилей и автобусов $Q_{e,авт} = 11\%$, в т.ч только грузовых автомобилей $Q_e = 3\%$, только автобусов $Q_{авт} = 8\%$. По данным ГИБДД, доля грузовых автомобилей, использующих дизельное топли-

Строительство и реконструкция

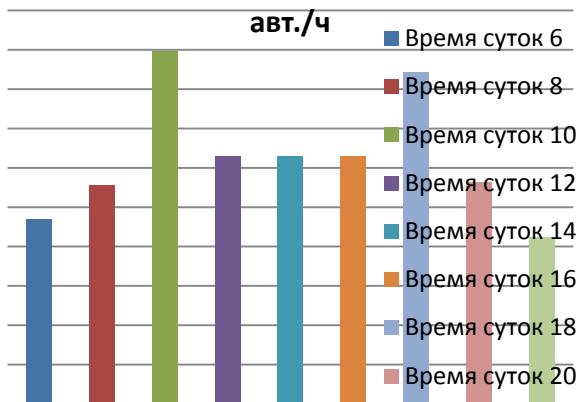
во, составляет 18%, а остальные используют бензин; в автобусах малого класса конструктивно применяются бензиновые и газовые двигатели.



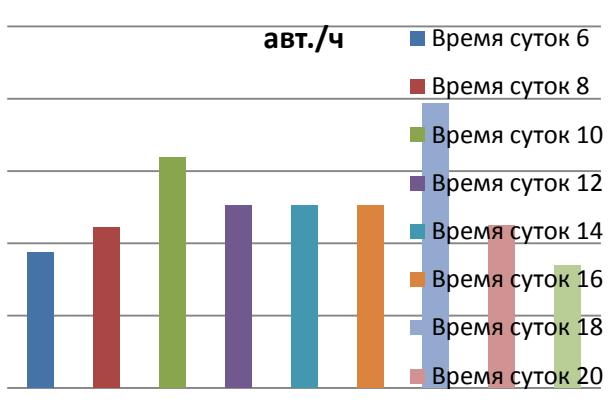
а) ул. Московское шоссе: перегон от микрорайона «Прокуровка» до перекрестка с ул. Михайлицына



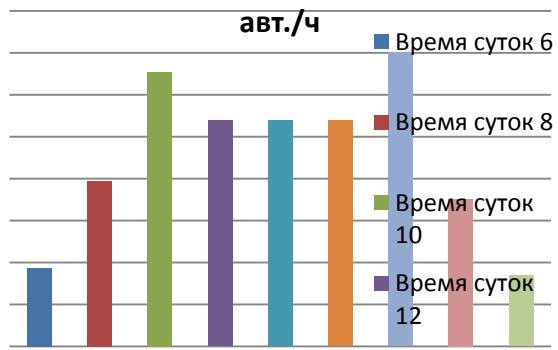
б) ул. Спивака



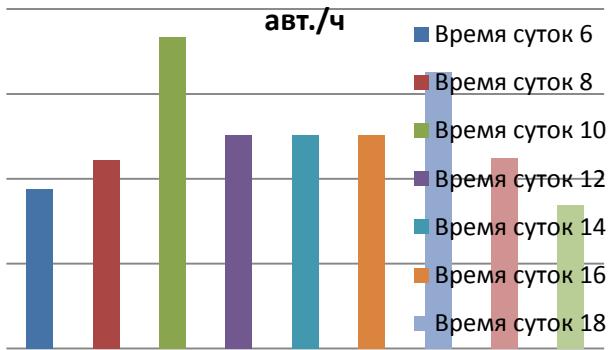
в) ул. Наугорское шоссе: перегон от магазин «Европа» до остановки «Госуниверситет – УНПК»



г) ул. Наугорское шоссе: перегон от перекрестка с ул. Лескова до перекрестка с ул. Генерала Родина



д) ул. Герцена – Герценский мост



е) ул. Тургенева

Рисунок 1 – Распределение интенсивности потоков автотранспортных средств по обследуемым элементам УДС г. Орла (по результатам мониторинга 2013 г.)

Суточная интенсивность составляет:

$$N_{CUT} = \frac{4N_{AT}}{K_T \cdot K_H \cdot K_G \cdot 365} = \frac{4 \cdot 1776}{0,042 \cdot 0,144 \cdot 0,083 \cdot 365} = 38772 \text{ авт / сут.}$$

где K_T, K_H, K_G – коэффициенты неравномерности интенсивности движения, соответственно, по часам суток, дням недели, месяцам года.

Суммарный суточный пробег автомобилей:

$$L_{легк} = 0,89 N_{CUT} \cdot s = 0,89 \cdot 38772 \cdot 0,391 = 34507 \text{ км};$$

$$L_e = 0,03 N_{CUT} \cdot s = 0,03 \cdot 38772 \cdot 0,391 = 455 \text{ км};$$

$$L_{asm} = 0,08 N_{CUT} \cdot s = 0,08 \cdot 38772 \cdot 0,391 = 1213 \text{ км}.$$

По формуле (6) определен массовый выброс загрязняющих веществ автотранспортным потоком при движении по перегону, расчет которого представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчетные значения массовых выбросов загрязняющих веществ

Параметр	Загрязняющие вещества				
	CO	CH	NO ₂	SO ₂	C
M ₁ , т/сут.	0,2631	0,0460	0,0228	0,0013	-
M ₂ , т/сут.	0,0275	0,0028	0,0013	0,0002	0,00002
M ₃ , т/сут.	0,0592	0,0047	0,0072	0,0036	-
M _i , т/сут.	0,3498	0,0535	0,0313	0,0051	0,00002
M _b , мг/с	11,0896	1,6936	0,9933	0,1621	0,0007
ПДК, мг/м ³	3	1	0,04	0,05	0,05
$\frac{M_i}{ПДК}, м^3 / с$	3,6965	1,6936	24,8325	3,2420	0,0140

Результат оценки экологической ситуации в зоне влияния k -ого элемента ОТС, полученный в ходе анализа фактического количества выбросов:

$$S_{oy\phiakt} = \left[\sum_1^p \sum_1^d \left(\frac{M_i}{ПДК_i} \right) \right] = 3,6965 + 1,6936 + 24,8325 + 3,2420 + 0,0140 = 33,4786 \text{ м}^3 / \text{с}.$$

Показатель уровня экологической опасности территории, находящейся в зоне влияния k -х элементов ОТС:

$$P_{oyk} = \frac{S_{oy\phiakt}}{S_{oy\phiakt\text{эталон}}} = \frac{33,4786}{5} = 6,6957.$$

Для определения коэффициента, отражающего уровень опасности территории, обусловленного синергетическим воздействием загрязняющих веществ, были проведены расчеты эмиссии угарного газа, углеводородов, оксидов азота и установлены их концентрации в долях ПДК. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Мощность эмиссии загрязняющих веществ и концентрации в долях ПДК

	Мощность эмиссии ЗВ, мг/(м/с)				Концентрации ЗВ в долях ПДК		
	CO	CH	NO ₂	SO ₂	CO	CH	NO ₂
ул. Октябрьская	0,0059	0,001213	0,000595	0,000109	0,37	0,40	0,03

$$K_{on} = \frac{C_1}{ПДК_1} + \frac{C_2}{ПДК_2} + \dots + \frac{C_n}{ПДК_n} = 0,37 + 0,40 + 0,03 = 0,80.$$

Количественное значение объема i -х загрязняющих веществ, образующихся от воздействия k -х элементов ОТС, находим по формуле (4):

$$Z_{ik} = 6,6957 \cdot 1,0 \cdot 0,3 \cdot 1,0 \cdot 0,4 \cdot 0,80 = 0,64.$$

Определим максимальные значения суточной интенсивности автотранспортных средств и массового выброса угарного газа при их движении, обеспечивающие экологически безопасное состояние территории, находящейся в зоне влияния ОТС в соответствии с требованиями нормативов, которые достигаются при выполнении условия $\sum_1^d \frac{M_i}{ПДК} \leq d$, где d – количество примесей в отработавших газах автомобиля, принятых в расчете.

$$N_{\text{этапов}} = 6163 \text{ авт. / сут}, M_{CO} = 0,0418 + 0,0041 + 0,0095 = 0,0554 \text{ м / сут.}$$

Газопоглотительная способность насаждений придорожной территории составляет 220-280 кг в день в расчете на 1 га, поэтому коэффициент, характеризующий количество ЗВ, утилизируемых 1 га биосферы, принимаем равным $K_{ik} = 0,25 \text{ т/сут.}$

Количественное значение части биосферы B_{ik} находим по формуле (2):

$$B_{ik} = \frac{0,25}{0,3498 - 0,0554} \cdot 1,08 \cdot 1,0 = 0,92.$$

Значение показателя биосферной совместимости урбанизированной территории по ул. Октябрьской от ул. Красноармейской до ул. 60 лет Октября:

$$\eta = \sum_k \sum_i [(B_{ik} - Z_{ik})] = 0,92 - 0,64 = 0,28.$$

Если анализировать численное значение этого показателя для обследуемого перегона, то оно достаточно низкое. Обусловлено значительным антропогенным воздействием на биосферу ввиду высокой интенсивности автомобильного потока, низкой пропускной способности перегона и вероятностью образования заторов при удовлетворительном уровне озеленения в соответствии с нормативным.

Предложенные расчетные зависимости показателя биосферной совместимости придорожных территорий позволяют выполнить анализ влияния конкретного объекта транспортного строительства на формирование экологической ситуации с позиции рассматриваемой концепции. Применение показателя биосферной совместимости при оценке экологической безопасности объектов транспортного строительства позволит перейти от покомпонентной оценки к интегральной, учитывающей возможность сбалансированных количественных соотношений ее составляющих. Такой подход даст возможность обеспечить уровень экологической безопасности объектов транспортного строительства в соответствии с целевым значением, обусловленным рациональным использованием ресурсов, находящихся в общественной собственности (атмосферный воздух, вода, почва), и установлением баланса между элементами техносферы и потенциалом биосферы. Результатом установления такого баланса для поселения будет сохранение или восстановление биосферы и развитие человека как составной ее части.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 г» [Текст]. Режим доступа: сайт Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации <http://www.mnr.gov.ru>.
2. Ильичев, В.А. Принципы преобразования города в биосферосовместимый и развивающий человека [Текст] / В.А. Ильичев // Научно-технический и производственный журнал «Промышленное и гражданское строительство». – М.: ООО «Издательство ПГС», 2010. – №6. – С. 3-13.
3. Ильичев, В.А. Некоторые вопросы проектирования поселений с позиции концепции биосферной совместимости [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, А.В. Берсенев, А.Л. Поздняков // Научно-технический журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №1. – С. 50-57.
4. Бакаева, Н.В. Методика расчета обобщенных критериев оценки состояния территориальной автотранспортной системы на основе концепции биосферосовместимых технологий [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Научно-технический журнал Academia. Архитектура и строительство. – 2011. – №4. – С. 114-119.
5. Бакаева, Н.В. Построение системы оценочных показателей и расчет показателя биосферной совместимости территориальной автотранспортной системы [Текст] / Н.В. Бакаева, И.В. Шишкина // Вестник Московского государственного строительного университета (МГСУ), 2011. – №3, Т 1. – С. 434-443.
6. Матюшин, Д.В. Результаты мониторинга экологической безопасности автотранспортной системы города (на примере г. Орла) [Текст] / Д.В. Матюшин // Биосферная совместимость: человек, регион, технологии. – 2013. – №2. – С. 47-154.

Пилипенко Ольга Васильевна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел

Ректор

E-mail:str_and_rek@mail.ru

Бакаева Наталья Владимировна

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Доктор технических наук, доцент кафедры «Строительство автомобильных дорог»
E-mail: natbak@mail.ru

Матюшин Денис Васильевич

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»
E-mail: dem@rekom.ru

O. PILIPENKO, N. BAKAEVA, D. MATYUSHIN

**NUMERICAL INVESTIGATIONS OF BIOSPHERE
COMPATIBILITY INDICATOR FOR OBJECTS OF TRANSPORT
CONSTRUCTION ON CASE OF THE ROAD NETWORK**

A new approach to the assessment of environmental safety of objects of transport construction, based on an indicator of biosphere compatibility of urbanized areas was developed. The integral indicators were offered to determination state of the biosphere and the amount of pollutants, which were formed from impact of transport objects on environment. Numerical investigations of indicator of biosphere compatibility were implemented on case of the road network's element of Orel.

Keywords: environmental safety; biosphere compatibility; objects of transport construction; roadside territory, integral evaluation.

BIBLIOGRAPHY

1. Gosudarstvennyj doklad «O sostojanii i ob ohrane okruzhajushhej sredy Rossijskoj Federacii v 2012 g» [Tekst]. Rezhim dostupa: sajt Ministerstva prirodnih resursov i jekologii Rossijskoj Federacii <http://www.mnr.gov.ru>.
2. Il'ichev, V.A. Principy preobrazovaniya goroda v biosferosovmestimyj i razvivajushhij cheloveka [Tekst] / V.A. Il'ichev // Nauchno-tehnicheskij i proizvodstvennyj zhurnal «Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo». – M.: OOO «Izdatel'stvo PGS», 2010. – №6. – S. 3-13.
3. Il'ichev, V.A. Nekotorye voprosy proektirovaniya poselenij s pozicij koncepcii biosfernoj sovmestimosti [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, A.V. Bersenev, A.L. Pozdnjakov // Nauchno-tehnicheskij zhurnal Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2009. – №1. – S. 50-57.
4. Bakaeva, N.V. Metodika rascheta obobshhennyh kriteriev ocenki sostojanija territorial'noj avtotransportnoj sistemy na osnove koncepcii biosferosovmestimyh tehnologij [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Nauchno-tehnicheskij zhurnal Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2011. – №4. – S. 114-119.
5. Bakaeva, N.V. Postroenie sistemy ocenochnyh pokazatelej i raschet pokazatelja biosfernoj sovmestimosti territorial'noj avtotransportnoj sistemy [Tekst] / N.V. Bakaeva, I.V. Shishkina // Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta (MGSU), 2011. – №3, T 1. – S. 434-443.
6. Matjushin, D.V. Rezul'taty monitoringa jekologicheskoy bezopasnosti avtotransportnoj sistemy go-roda (na primere g. Orla) [Tekst] / D.V. Matjushin // Biosfernaja sovmestimost': chelovek, region, tehnologii. – 2013. – №2. – S. 47-154.

O. Pilipenko

State university – educational-science-production complex, Orel
Rector
E-mail: str_and_rek@mail.ru

N. Bakaeva

State university – educational-science-production complex, Orel
Doctor of technical sciences, associate professor of the department «Road construction»
E-mail: natbak@mail.ru

D. Matyushin

State university – educational-science-production complex, Orel.
Post-graduate student of the department «Road construction»
E-mail: dem@rekom.ru

УДК 625.72

ЗВЕРКОВА Е.Е., ФОМИНА А.С.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МОДУЛЕЙ
УПРУГОСТИ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА НА АВТОМОБИЛЬНЫХ
ДОРОГАХ С ГРУНТОВОЙ ПРОЕЗЖЕЙ ЧАСТЬЮ**

В данной работе основное внимание уделяется сравнительному анализу физико-механических свойств засоленных и незасоленных грунтов на основе статистической оценки модулей упругости, полученных экспериментальным путем. Установлено качественное и количественное влияние соли на снижение прочности земляного полотна при различной степени увлажнения.

Ключевые слова: модуль упругости; засоленный грунт; земляное полотно; прогиб; деформации; расчетные нагрузки.

Данные экспериментального исследования выполнены на грунтовых дорогах, сложенных из засоленных и незасоленных грунтов, с целью изучения модулей упругости уплотненных грунтов в теле земляного полотна при наличии и отсутствии засоления.

Проблема использования засоленных грунтов в строительстве за последние годы стала особенно актуальной в связи с освоением новых территорий под строительство автомобильных дорог с использованием местных засоленных грунтов. Считается, что в настоящее время изучена возможность использования засоленных грунтов для возведения земляного полотна автомобильной дороги, а в некоторых случаях доказана целесообразность использования именно засоленных грунтов. Так, в соответствии с классификацией slabозасоленных и среднезасоленных грунтов, их можно использовать в насыпях типовых конструкций. Однако при использовании слабо- и среднезасоленных грунтов возникает вероятность того, что в теле земляного полотна появятся участки с сильным засолением. Поэтому оценку применения засоленных грунтов необходимо устанавливать с учетом вероятностного подхода оценки риска разрушения земляного полотна из засоленных грунтов при увеличении влажности. В основном на солонцах и slabозасоленных грунтах при благоприятном воднотепловом режиме не требуется особых мероприятий для обеспечения устойчивости земляного полотна. Условия, влияющие на устойчивость земляного полотна, весьма разнообразны, поэтому для каждой проектируемой дороги необходимо тщательное установление и учет их с применением вероятностной степени засоления грунта.

Существующие подходы к изучению засоленных грунтов, проектированию и строительству земляного полотна с их использованием зачастую не отражают механические свойства засоленных грунтов. Как известно, при строительстве на засоленных грунтах не всегда уделяется должное внимание специфическим свойствам данных грунтов, а долговечность дорожной одежды обуславливается в наибольшей степени правильной оценкой прочности грунтов. Поэтому назначение характеристик прочности грунтов при расчетах земляного полотна и дорожной одежды имеет большое значение для засоленных грунтов. Таким образом, возникает необходимость разработки такой математической модели, которая бы учитывала вероятностную сущность процессов засоления земляного полотна и позволяла рассчитывать вероятность разрушения дорожной конструкции.

В дорожной практике находит применение несколько вариантов определения модулей упругости грунтов. Упругий модуль может быть измерен в лаборатории, используя динамические трехосные испытания или испытания образцов в условиях одноосного сжатия. Однако данные испытания могут иметь ряд погрешностей. Как известно, первая группа погрешностей

характерна для любого физического лабораторного опыта, включающего наличие трения между образцом и стенками прибора, отличие температуры массива грунта, несовпадение скоростей нагружения при испытание и при строительстве и т.д. Вторая группа включает погрешности, обусловленные отличием свойств извлеченного грунта и свойств грунта непосредственно в массиве. Исходя из вышесказанного, с помощью вероятностных моделей можно учесть все погрешности экспериментальных исследований и рассчитать риск разрушения земляного полотна как на засоленных грунтах, так и на грунтах без солей.

Теоретические основы экспериментальных работ, выполненных в процессе данных исследований

Как известно, засоление грунта само по себе не оказывает существенного влияния на устойчивость земляного полотна и дорожных одежд. Влияние солей на физико-механические свойства грунтов заметно проявляется лишь в присутствие воды.

Модуль деформации и модуль упругости выражают сопротивление грунтов деформированию под действием нагрузок. Модуль упругости учитывает восстанавливающиеся (упругие) деформации грунта при испытании его нагрузками.

Модуль упругости – более постоянная характеристика деформационных свойств грунтов, чем модуль деформации. Он меньше зависит от степени первоначального уплотнения грунта и мало изменяется при изменении действующих нагрузок [2].

Полевой метод определения модуля упругости засоленных и незасоленных грунтов основан на величине прогиба под действием расчетной нагрузки. Разница двух отсчетов, взятых по индикатору (с учетом соотношения плеч рычага прогибомера), дает величину прогиба грунта в миллиметрах.

$$l_y = 2(i - i_0), \quad (1)$$

где l_y – полная упругая деформация.

Методика экспериментальных работ

Экспериментальные исследования проводились с суглинками пылеватыми со средней степенью засоления 5% и супесью легкой при среднем засолении 3%, а так же на дороге, возведенной из незасоленного грунта – супеси легкой.

Для проведения экспериментальных исследований использовался балочный прогибомер типа КП-204.

Последовательность измерений прогиба заключалась в следующем. Иглу прогибомера помещали между задними колесами расчетного автомобиля (типа МАЗ-500А). Потом выдерживали автомобиль на точке, а когда отсчет по индикатору i_0 изменялся за 10 сек. более чем на 0,005 мм снимали по индикатору первый отсчет. Затем автомобиль отъезжает от прогибомера. Грунт после снятия нагрузки через некоторое время выпрямлялся, что приводило к поднятию иглы и изменению отсчета на индикаторе. По формуле (1) определяли величину прогиба грунта земляного полотна.

Выполняли статическую обработку эквивалентных модулей упругости грунта. Номинальная статическая нагрузка на колесо расчетного автомобиля составляла 50 кН. Давление в шинах было равно 0,50-0,55 МПа. Так же измеряли влажность в рабочем слое земляного полотна. Для этого закладывали шурф глубиной до 1 м. Влажность грунта определяли в лаборатории весовым методом.

Обработка экспериментальных данных

Для вычисления модуля упругости грунта по экспериментальным данным используем формулу [1]: $E_i = K_q p D (1 - \mu^2) / l_i$, где K_q – коэффициент, зависящий от характера передачи нагрузки на покрытие; так при испытании с помощью жесткого штампа $K_q = 0,25\pi$, а с помощью спаренного колеса и прогибомеров – $K_q \approx 0,6$; p – давление на грунт земляного полотна, МПа; D – диаметр круга, эквивалентного следу колеса; μ – коэффициент Пуассона ($\mu = 0,30$).

В результате исследований была установлена разница в модулях упругости засоленных и незасоленных грунтов земляного полотна при одном гранулометрическом составе (табл. 1), что подтверждает негативное влияние соли на физико-механические свойства грунтов.

Таблица 1 – Фрагмент результатов экспериментальных исследований грунта (суглинок пылеватый, влажность 3%).

Засоленный грунт (5% засоления)		Незасоленный грунт	
Прогиб, см	Модуль упругости, МПа	Прогиб, см	Модуль упругости, МПа
0,04451	28,34	0,0335	37,63
0,044337	28,45	0,0332	37,92
0,043875	28,75	0,0329	38,24
0,043288	29,14	0,0328	38,42
0,043125	29,25	0,0325	38,81
0,042949	29,37	0,0323	39,00
0,042529	29,66	0,0323	39,03
0,042357	29,78	0,0320	39,44
0,042047	30	0,0319	39,49
0,041879	30,12	0,0319	39,58
0,041699	30,25	0,0318	39,67
0,041672	30,27	0,0317	39,75

Данные измерений модулей упругости представлены на рисунках 1 и 2.

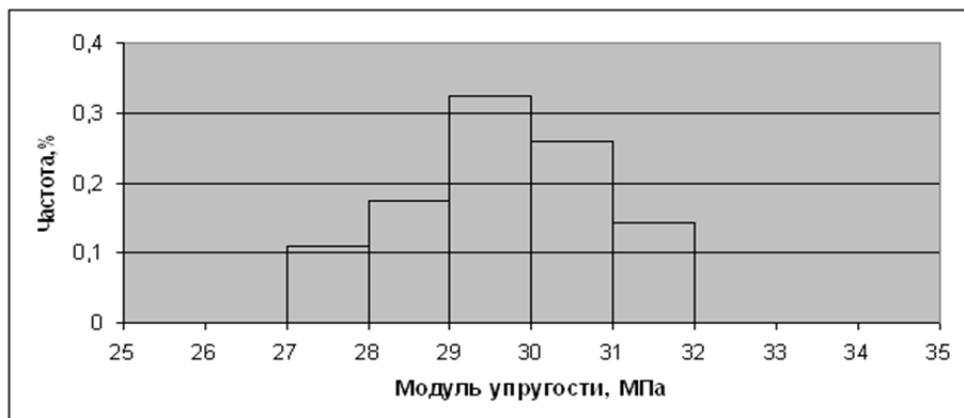


Рисунок 1 – Модули упругости засоленного грунта на экспериментальном участке (супесь легкая)

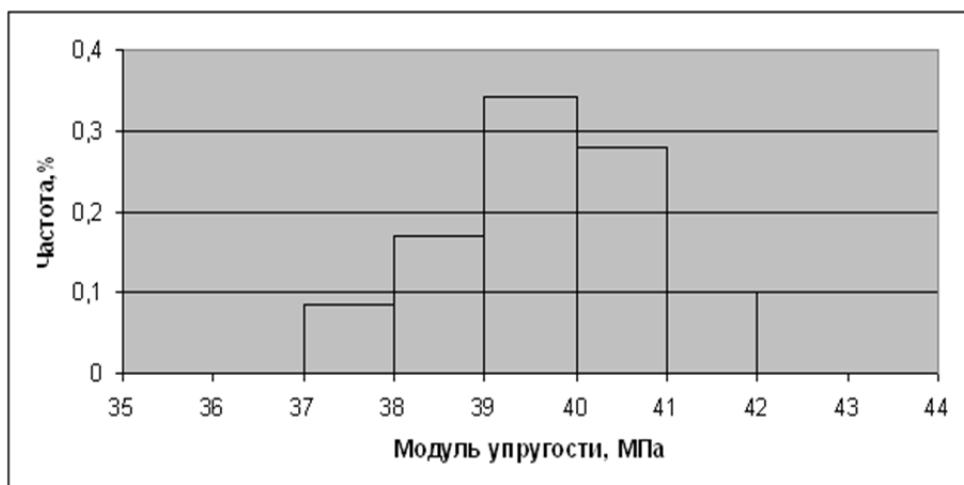


Рисунок 2 – Модули упругости незасоленного грунта на экспериментальном участке (супесь легкая)

На рисунках 3 и 4 проиллюстрированы полученные прогибы и модули упругости для исследуемых засоленных и незасоленных грунтов. На рисунке 5 показана зависимость влажности от модуля упругости.

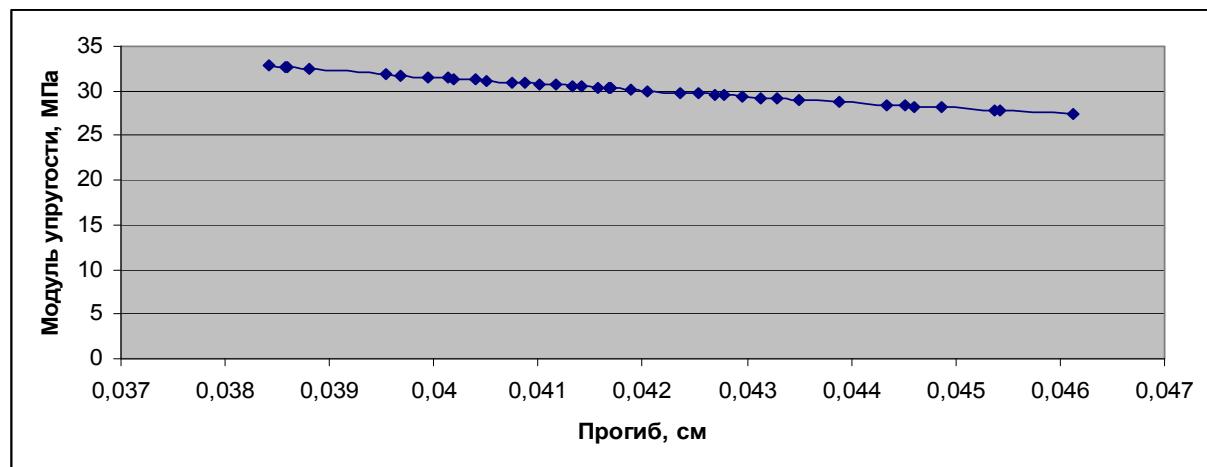


Рисунок 3 – Изменение модулей упругости засоленного грунта в зависимости от прогиба (при влажности грунта в рабочем слое земляного полотна $W=3\%$ по массе)

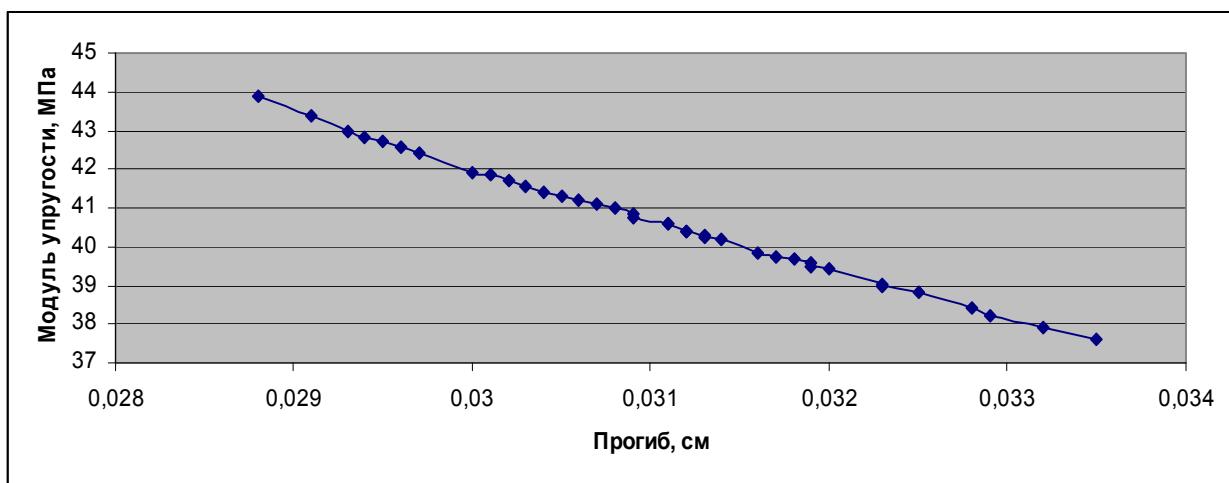


Рисунок 4 – Изменение модулей упругости незасоленного грунта в зависимости от величин упругого прогиба (при влажности грунта в рабочем слое земляного полотна $W=3\%$ по массе)

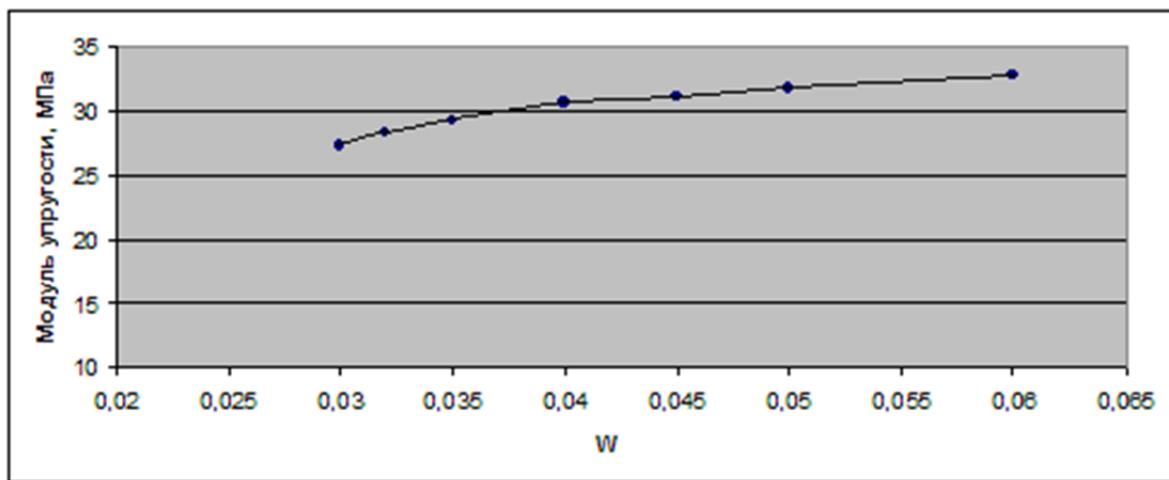


Рисунок 5 – Изменение модуля упругости засоленного грунта в зависимости от его влажности

В ходе работы была исследована также возможность использования засоленного грунта в строительстве с учетом вероятностной сущности процесса засоления на основе данных, полученных в ходе экспериментальных исследований. Для создания математической модели

необходимо знать законы распределения. Основные показатели прочностных свойств грунта по результатам обработки исследований подчиняются нормальному закону распределения. При этом определяем как среднюю величину модуля упругости, так и его среднеквадратическое отклонение. Статическую обработку результатов измерений выполним мультипликативным методом и методом суммирования.

Таблица 2 – Результаты статистической обработки модулей упругости засоленного грунта (суглинка пылеватого)

Границы разрядов	Середина разряда	Частота, m_i	Частичная сумма, S_m	Накопленная частота, T	Середина условного интервала, e	Произведения		
						$e * m_i$	e^2	$e^2 * m_i$
28-29	28,5	3	3	3	-2	-6	4	12
29-30	29,5	5	8	11	-1	-5	1	5
30-31	30,5	11	19	30	0	0	0	0
31-32	31,5	7	26	56	1	7	1	7
32-33	32,5	3	29	85	2	6	4	12
$n = \sum m$		29						
$M = S_m + m_{i+1}$			85					
$T = T_i + S_{mi+1}$				185				
$B = \sum e * m_i$						2		
$A = \sum e^2 * m_i$								36

Среднее значение определяется по формуле:

$$E_{cp} = \sum E_i \cdot p_i = 30,55,$$

где E_i – середина i -го разряда; p_i – частота появления значений в i -м разряде.

Определили дисперсию распределения по формуле:

$$D = \sum [(E_i - E_{cp})^2 \cdot p_i] = 1,28$$

где E_{cp} – среднее значение модулей упругости.

Установили значение среднего квадратического отклонения по зависимости:

$$\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{1,28} = 1,13.$$

По методу суммирования:

$$E_{cp} = U_k - d(M/n - 1) = 32,5 - 1(85/29 - 1) = 30,56;$$

$$\sigma = \sqrt{d^2 / (n-1) \cdot (2 \cdot \sum T - M - M^2 / n)} = \sqrt{(1/28) \cdot (2 \cdot 185 - 85 - 85^2 / 29)} = 1,13.$$

По мультипликативному методу:

$$E_{cp} = x_a + d/n \cdot B = 30,5 + (2/35) \cdot 1 = 30,55;$$

$$\sigma = \sqrt{d^2 / (n-1) \cdot (A - B^2 / n)} = \sqrt{1/28 \cdot (36 - 4/29)} = 1,130.$$

В результате получим, что средний модуль упругости исследуемого грунта составляет 30,55 МПа при среднеквадратическом отклонении 1,13 МПа, а коэффициент вариации отклонений составляет:

$$C_V^E = \frac{\sigma}{E_{cp}} = \frac{1,13}{30,55} = 0,036.$$

Для незасоленных грунтов получили аналогичные значения: $E_{cp}=40,58$; $\sigma=1,52$;

$$C_V^E = \frac{\sigma}{E_{cp}} = \frac{1,52}{40,58} = 0,038.$$

Таким образом, по результатам обработки экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. При исследовании засоленных грунтов и грунтов без солей по критерию Пирсона действует нормальное распределение.

2. В результате сравнения полученных показателей засоленных и незасоленных грунтов видно негативное влияние засоления на механические свойства грунтов, а именно, снижение модуля упругости при одной и той же влажности. На основе проведенных экспериментальных работ видно, что при средней влажности 3% модуль упругости незасоленного грунта находится в пределах от 37 до 44 МПа, а засоленного грунта от 25 до 35 МПа. В результате снижения прочности засоленных грунтов увеличивается риск разрушения и потери устойчивости земляного полотна в отличие от незасоленных грунтов, что должно учитываться при составлении математического аппарата.

2. Полученные результаты являются исходными данными для оценки риска разрушения земляного полотна как засоленных грунтов, так и грунтов без солей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ОДН 218.046-01. Проектирование нежестких дорожных одежд [Текст]. – Москва 2001.

2. Бабков, В.Ф. Проектирование автомобильных дорог [Текст] / В.Ф. Бабков, О.В. Андреев. – Москва, 1987.

Зверкова Екатерина Евгеньевна

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аспирант

Тел.: +7 937 248 53 18

Фомина Анна Сергеевна

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А., г. Саратов

Аспирант

Тел.: +7 917 206 11 04

E. ZVERKOVA, A. FOMINA

EXPERIMENTAL STUDIES ON ELASTICITY MODULES FOR EARTH ROADS

In this work the main attention is paid to the comparative analysis of physicomechanical properties of the salted and not salted soil on the basis of a statistical assessment of modules of the elasticity received experimentally. High-quality and quantitative influence of salt on decrease in durability of a road bed is established at various extent of moistening.

Keywords: modulus of elasticity; pickled soil; earthen cloth; bending; deformation; calculated load.

BIBLIOGRAPHY

1. ODN 218.046-01. Proektirovaniye nezhestkih dorozhnyh odezhd [Tekst]. – Moskva 2001.

2. Babkov, V.F. Proektirovaniye avtomobil'nyh dorog [Tekst] / V.F. Babkov, O.V. Andreev. – Moskva, 1987.

E. Zverkova

Saratov state technical university, Saratov

Postgraduate student

Ph.: +7 937 248 53 18

A. Fomina

Saratov state technical university, Saratov

Postgraduate student

Ph.: +7 917 206 11 04

КУЗАХМЕТОВА Э.К., ВЕШКИН А.И.

КОМПЛЕКСНЫЙ УЧЕТ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ГРУНТЫ В ОСНОВАНИИ И В СООРУЖЕНИИ ПРИ НАЗНАЧЕНИИ ЕГО КОНСТРУКЦИИ

В настоящее время стремительно меняются условия строительства инженерных сооружений, в том числе автомобильных дорог. Это связано со следующими обстоятельствами: увеличение транспортных потоков, увеличение нагрузок от сооружений и транспорта, необходимость использования местных грунтов и материалов, появление новых технологий и конструкций. Для прогноза деформации сооружений в новых условиях строительства необходим пересмотр некоторых положений механики грунтов, на основе которых проводятся расчеты. В связи с отмеченными авторами пересматриваются традиционные подходы учета влияния на поведение грунтов внешних факторов, в частности, связанных с деятельностью человека, то есть техногенных. Цель исследований – повышение точности прогноза деформаций земляного полотна и его основания, следовательно, повышение надежности проектирования и строительства автомобильных дорог. Новые предложения могут быть использованы и в других областях строительства.

Ключевые слова: автомобильные дороги; деформации; механика грунтов; строительство; проектирование.

Анализ опыта строительства крупных дорожных объектов за последние годы показал, что в ряде случаев имеются отрицательные результаты. Немалая доля потери работоспособности дороги приходится на основной ее элемент – земляное полотно. Его дефекты проявляются в виде просадки поверхности, трещин на обочинах, нарушения устойчивости откосов и др. Причиной недопустимых деформаций являются либо неправильное назначение конструкции земляного полотна, в том числе и недостоверное определение свойств грунтов, либо несоблюдение технологических регламентов земляных работ. Отбрасывая проблемы организационного характера, рассмотрим поведение грунтов в зоне действия сооружения при учете влияния внутренних и внешних факторов. В связи с этим должен быть решен вопрос: насколько методики испытаний грунтов и расчетный аппарат для прогноза их деформаций, разработанные учеными в 80-90-ые годы, учитывают современные условия работы грунтов в системе «сооружение – грунт».

На первой стадии инженерных изысканий территории строительства техническое задание на обследование грунтовой толщи составляется с учетом требований к количеству выработок, объему отбора образцов и видам испытаний в соответствии с действующими документами. При этом при назначении схемы испытания для определения показателей физико-механических свойств грунтов учитываются внешние факторы через величину нагрузки от веса сооружения и режим ее приложения, а внутренние – с помощью учета начального состояния грунта и условий его дренирования. Последнее условие моделируется в опытах на компрессию и консолидацию, по результатам которых прогнозируется время завершения интенсивной части осадки. В связи с отмеченным очевидно, насколько важна точность моделирования реальных условий. В действующей методике прогноза осадки инженерных сооружений путь фильтрации поровой воды принимается равным мощности расчетного слоя при одностороннем его дренировании и половине мощности – при двухстороннем. Исключение составляет учет начального градиента фильтрации, который, как правило, для практических целей не определяется, поэтому его учет в данной статье не рассматривается. Такой подход в техническом задании к назначению схемы испытаний прослеживается и на последующих стадиях

изысканий и проектирования с той лишь разницей, что добавляются лабораторные испытания грунтов (при необходимости).

Таким образом, влияние внешних факторов учитывается только в напряженно-деформированном состоянии грунта в зоне воздействия сооружения. По нашему мнению, необходимо, чтобы такое влияние учитывалось не только в напряженно-деформированном состоянии (по условию сжатия), но и в напряжено-дренированном состоянии грунтов (по условию фильтрации). Напряжено-деформированное состояние оценивается в активной зоне сжатия, которая устанавливается в соответствии со СНиПом 2.05.02-85* (актуализированная редакция). Но возможно возникновение и таких условий, когда уплотняющей нагрузки будет недостаточно для отжатия поровой воды из активной зоны сжатия слабого слоя. В такой его части грунт окажется в закрытой системе. Значит, в основании надо выделять открытые и закрытые зоны по условию фильтрации воды к дренирующей поверхности. В этом и заключается новый учет техногенного воздействия на грунтовую толщу. Что же он меняет в существующем подходе прогноза вертикальных деформаций земляного полотна? Путь фильтрации следует принимать не из природных условий дренирования, а исходя из созданных при возведении насыпи. В качестве критерия выделения указанных зон предлагается консолидационно-фильтрационный параметр, определяемый по данным компрессионно-консолидационных испытаний грунта расчетного слоя. Первоначально методика установления открытых и закрытых зон в основании была изложена в «Пособии по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах», которое можно рассматривать как развитие положений СНиПа 2.05.02-85*.

Важность такого подхода трудно переоценить, поскольку благодаря ему мероприятия для ускорения осадки рассчитываются с учетом действительных условий механического отжатия воды, а путь фильтрации в этом случае может быть намного меньше по сравнению с природным.

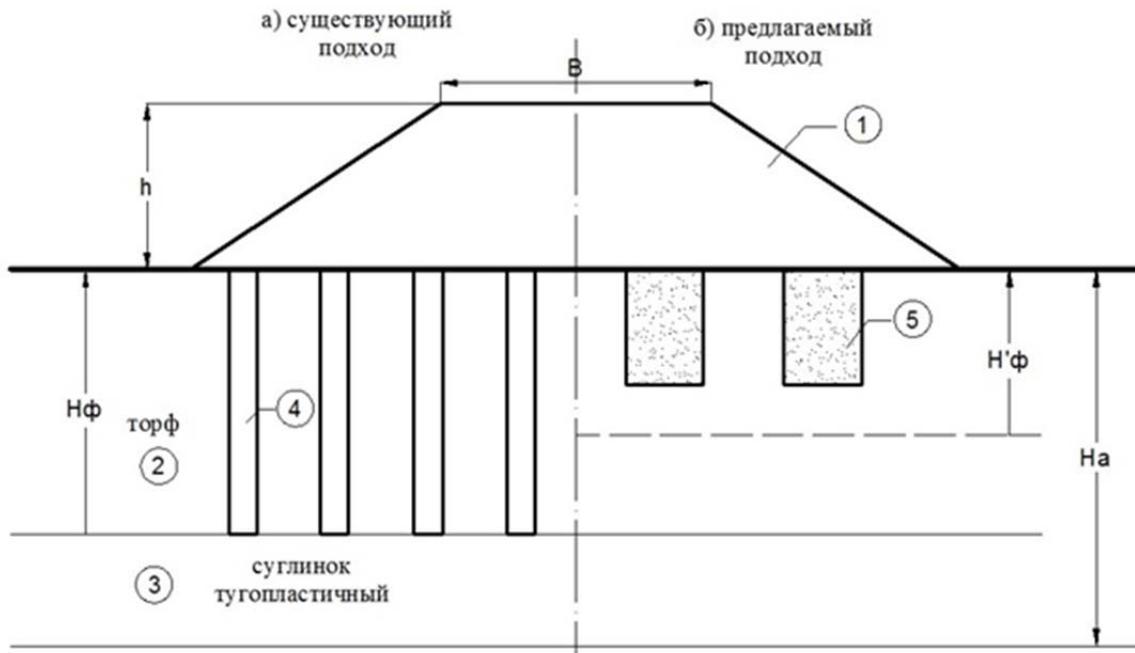


Рисунок 1 – Схема конструкции насыпи
 1 – насыпь; 2 – слой торфа; 3 – слой суглинка; 4 – песчаные дрены; 5 – прорези;
 H_f – путь фильтрации по существующей методике; H'_f – путь фильтрации
 по предлагаемой методике; H_a – активная зона сжатия

Конструкция для ускорения осадки должна быть назначена исходя из пути фильтрации $H'_f < H_f$. В качестве примера на рисунке показана конструкция с песчаными дренами, длина

которых рассчитана на путь фильтрации H_{ϕ} . При расчете с учетом H_{ϕ} длина дрен будет меньше, а также может быть принята другая конструкция, к примеру – прорези. Экономия составит не менее 30% от стоимости конструкции, назначенной по общепринятой методике.

Предполагается продолжить исследования в этом направлении для уточнения расчетных схем испытаний, которые отличаются от принятых в классической механике грунтов, а также для дальнейшего усовершенствования методик прогнозирования возможных деформаций сооружения.

Еще в большей степени техногенное воздействие отражается на грунтах, разрабатываемых и укладываемых в насыпь. Общеизвестно, что работоспособность земляного полотна предопределяется качеством послойного уплотнения, в процессе которого достигается требуемая плотность грунта при определенной его влажности. Эти величины для каждого конкретного вида грунта определяются на приборе стандартного уплотнения СоюзДорНИИ. Обоснование методики стандартного уплотнения его разработчиками основано на теории уплотнения однородной грунтовой массы при заданной механической работе уплотнения. Однако анализ физико-механических процессов, происходящих при этом, отсутствует. На наш взгляд требуется учет механизма этих процессов на изменения структуры и состояние грунта при стандартном уплотнении.

Предварительные исследования подтвердили высказанное выше предложение. Так, оценка изменения всех фаз (частицы, вода, воздух) для несkalьных разновидностей глинистых грунтов при стандартном уплотнении показала, что методика данного испытания должна быть изложена в зависимости от исходного состояния грунта и характера его увлажнения. Это также актуальное направление исследований степени влияния техногенного воздействия на поведение грунтов в насыпи, поскольку их результаты позволяют повысить точность определения параметров стандартного уплотнения, на основе которых регламентируется степень уплотнения и степень увлажнения грунтов в земляном полотне со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Заключение

Таких разнообразных природных условий (климатических, грунтовых и др.) нет ни в одной другой стране. Именно поэтому у нас разработана и научно обоснована методология индивидуального проектирования сооружений в сложных инженерно-геологических условиях. К примеру, «Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах». На базе классической механики грунтов предложена методика прогноза возможных деформаций слабых грунтов с учетом специфики их свойств и поведения, на основе результатов которого рассчитывается конструкция в настоящее время.

Как было отмечено выше, осложнения условий строительства, с одной стороны, и отрицательный опыт строительства, с другой, предопределили пересмотр общепринятого подхода к выбору расчетных схем испытаний и расчетных зависимостей для прогнозирования деформаций. В указанных направлениях имеются различные разработки ученых, но они носят «отрывочный» характер, а потому, при наличии недоработанных звеньев в общей системе проектирования, не повышают его качество.

В связи с отмеченным авторы считают, что должна быть создана новая единая методология проектирования инженерных сооружений, учитывающая влияния современных условий строительства (организационных, технических, техногенных, природных и др.) на изменения геотехнических свойств грунтов в зоне воздействия сооружения и в самом сооружении. С этой целью авторами решалась и решается первоочередная задача – формирование методологии комплексной оценки условий работы грунтов в системе «сооружение – грунт», немалую роль в которой играет техногенное воздействие. Некоторые пути ее решения изложены в данной статье. Доказана необходимость более полного учета изменений природных условий залегания грунтов в результате возведения сооружения. Причем использование рассмотренных

предложений актуально не только для транспортного строительства, но и для других отраслей строительства.

В связи с вышеизложенным следует добавить, что столь бурно происходящая в последнее время актуализация нормативных документов по проектированию и строительству автомобильных дорог, а тем более их гармонизация, не обеспечат необходимого повышения уровня и качества таких документов без учета не только детального анализа разнообразных условий нашей страны, но и глубокого анализа влияния сооружения на поведение грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 34.1330.2010. Автомобильные дороги (СНиП 2.05.02-85*. Актуализированный) [Текст].
2. ГОСТ 22733-2002. Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности [Текст].
3. Пособие по проектированию земляного полотна автомобильных дорог на слабых грунтах [Текст]. – М.: Информавтодор, 2004.
4. Кузахметова, Э.К. Глинистые грунты повышенной влажности в дорожном строительстве [Текст] / Э.К. Кузахметова // Обзорная информация. – М.: Информавтодор. – 2008. – №5.
5. Кузахметова, Э.К. Можно определить поведение грунтов [Текст] / Э.К. Кузахметова // Автомобильные дороги. – 2010. – №5.
6. Кузахметова, Э.К. Научное обоснование актуализации нормативных документов в дорожной отрасли». «Информационный вестник [Текст] / Э.К. Кузахметова. – М.: Мособлэкспертиза. – №2 (29). – 2010.
7. Кузахметова, Э.К. Усовершенствование методологии прогноза осадки системы «сооружение – грунтовое основание» [Текст] / Э.К. Кузахметова // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – №6.
8. Вешкин, А.И. Обеспечение стабильности земляного полотна автомобильных дорог из глинистых грунтов повышенной влажности с помощью новых технологических регламентов [Текст] / А.И. Вешкин // Труды XIV научно-практической конференции «Безопасность движения поездов», 2013.

Кузахметова Эмма Константиновна

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва

Доктор технических наук, заведующая кафедрой «Строительство автомобильных дорог»

Вешкин Александр Иванович

Московский государственный университет путей сообщения, г. Москва

Аспирант кафедры «Строительство автомобильных дорог»

Тел.: +7 (903) 978-60-37

E-mail: veshkin89@mail.ru

E. KUZAHMETOVA, A. VESHKIN

THE COMPLEX ACCOUNTING OF TECHNOGENIC IMPACT ON SOIL IN THE FOUNDATION AND THE CONSTRUCTION DURING TO ITS DESIGN

Nowadays building of engineering facilities conditions, including highways are rashly changing. It associated with such facts: increase of traffic, increase of buildings and traffic load, necessity of using local ground and materials, appearance of new technology and constructions. For the prediction of facilities deformation in building's new conditions need in revision of some ground mechanic positions. On the basis of which calculations are carried out. Due to this fact the authors reconsiders traditional methods of accounting of impact on reaction of external factors' ground, which in particular associated with human activity, that is technogenic ones. Research's purpose is to increase the accuracy of prediction of ground bed's deformation and its foundation, therefore increase of reliability of highway design and building. Also new offers maybe used in other parts of building.

Keywords: highways; deformation; ground mechanic; building; design.

BIBLIOGRAPHY

1. SP 34.1330.2010. Avtomobil'nye dorogi (SNiP 2.05.02-85*. Aktualizirovannyj) [Tekst].
2. GOST 22733-2002. Grunty. Metod laboratornogo opredelenija maksimal'noj plotnosti [Tekst].
3. Posobie po proektirovaniyu zemlianogo polotna avtomobil'nyh dorog na slabyh gruntah [Tekst]. – M. Informavtodor, 2004.
4. Kuzahmetova, Je.K. Glinistye grunty povyshennoj vlazhnosti v dorozhnom stroitel'stve [Tekst] / Je.K. Kuzahmetova // Obzornaja informacija. – M.: Informavtodor. – 2008. – №5.
5. Kuzahmetova, Je.K. Mozhno opredelit' povedenie gruntov [Tekst] / Je.K. Kuzahmetova // Avtomobil'nye dorogi. – 2010. – №5.
6. Kuzahmetova, Je.K. Nauchnoe obosnovanie aktualizacii normativnyh dokumentov v dorozhnoj otrassli». «Informacionnyj vestnik [Tekst] / Je.K. Kuzahmetova. – M.: Mosobljekspertiza. – №2 (29). – 2010.
7. Kuzahmetova, Je.K. Usovershenstvovanie metodologii prognoza osadki sistemy «sooruzhenie – gruntovoe osnovanie» [Tekst] / Je.K. Kuzahmetova // Osnovanija, fundamenty i mehanika gruntov. – 2011. – №6.
8. Veshkin, A.I. Obespechenie stabil'nosti zemlianogo polotna avtomobil'nyh dorog iz glinistyh gruntov povyshennoj vlazhnosti s pomoshch'ju novyh tehnologicheskikh reglamentov [Tekst] / A.I. Veshkin // Trudy XIV nauchno-prakticheskoy konferencii «Bezopasnost' dvizhenija poezdov», 2013.

E. Kuzahmetova

Moscow state university of railway engineering, Moscow
Doctor of technical science, head of the department «Highways building»

A. Veshkin

Moscow state university of railway engineering, Moscow
Post-graduate student of the department «Highways building»
Ph.: +7 (903) 978-60-37
E-mail: veshkin89@mail.ru

УДК 692

ЛУКУТЦОВА Н.П., ПОСТНИКОВА О.А., НИКОЛАЕНКО А.Н.,
МАЦАЕНКО А.А., ТУЖИКОВА М.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДЕКОРАТИВНОГО МЕЛКОЗЕРНИСТОГО БЕТОНА НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННОГО ГЛАУКОНИТОВОГО ПЕСКА

Рассмотрена возможность использования глауконитового песка для производства экологически безопасного декоративного мелкозернистого бетона, модифицированного нанодисперсной добавкой. В работе представлены результаты исследования свойств глауконитового песка и модифицированного мелкозернистого бетона на его основе. Перспективные направления научных исследований предусматривают экологическую эффективность применения техногенных песков, как способа их утилизации.

Ключевые слова: глауконитовый песок; декоративный мелкозернистый бетон; нанодобавка; диоксид титана; экологическая безопасность.

Острота экологической ситуации, ужесточение нормативных требований к охране окружающей среды выдвигает проблему экологически безопасной локализации отходов в число первоочередных задач. При этом основной целью является надежная изоляция отходов от биосфера. Успешно решить такую задачу можно путем связывания отходов в химически устойчивые материалы.

На территории Брянской области скопилось более 20 млн. т отходов обогащения фосфоритовых руд – техногенных глауконитовых песков, которые могут использоваться не только для строительства дорог, но и для получения бетонов и растворов.

Целью работы является разработка экологически безопасного декоративного мелкозернистого бетона (ДМЗБ) на основе техногенного глауконитового песка (ГП) путем введения в его состав наномодификатора (НМ), полученного ультразвуковым диспергированием пигментного порошка диоксида титана.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи: оценка качества глауконитового песка, как сырья для получения декоративного мелкозернистого бетона; изучение влияния глауконитового песка на свойства бетонной смеси и бетона; возможность получения ДМЗБ на глауконитовом песке путем целенаправленного регулирования его структуры и свойств разработанным наномодификатором на основе диоксида титана.

Химический состав ГП Брянского фосфоритного завода свидетельствует о преобладании оксида кремния, на долю которого приходится 90%. Особенностью глауконитового песка является то, что в его составе присутствуют такие оксиды, как P_2O_5 и фтор (табл. 1). Содержание глауконита в глауконитовом песке составляет 8-16% и придает ему зеленоватый оттенок. По модулю крупности M_k (1,5-1,8) и полному остатку на сите 0,63 (до 10%) глауконитовый песок относится к мелкому. Эффективная удельная активность естественных радионуклидов составляет 186 Бк/кг.

Таблица 1 – Химический состав глауконитового песка

Содержание оксидов, %												
SiO ₂	CaO	P ₂ O ₅	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	FeO	TiO ₂	F	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₂	п.п.п
90,0	2,0	1,4	1,3	0,3	2,2	0,4	0,15	0,13	1,1	0,1	0,4	0,43

Результаты исследований выявили особенности формирования структуры мелкозернистого бетона на техногенном глауконитовом песке по сравнению с кварцевым. Установлено,

что водопотребность бетонной смеси с глауконитовым песком в 1,6 раза больше, чем с кварцевым, а подвижность меньше (табл. 2). Это связано с повышенной пустотностью глауконитового песка и способностью глауконита к поглощению воды.

Таблица 2 – Зависимость подвижности бетонной смеси от вида песка

Вид песка	Расплыв конуса, мм при В/Ц			
	0,4	0,45	0,47	0,5
Глауконитовый	105	108	116	118
Кварцевый	108	115	118	123

Из таблицы 2 видно, что при В/Ц 0,4; 0,45; 0,47; 0,5 расплыв конуса бетонной смеси с глауконитовым песком на 2,8; 6,5; 1,7 и 4,2% соответственно меньше, чем с кварцевым заполнителем.

Повышенная пустотность глауконитового песка и его водопотребность отрицательно сказывается на всех свойствах мелкозернистого бетона (МЗБ). Происходит снижение плотности, возрастает общая пористость МЗБ, что неизбежно сказывается на водопоглощении, усадке и других свойствах бетона.

Исследования показали, что предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона на кварцевом песке больше, чем на глауконитовом. Так для МЗБ на кварцевом песке $R_{сж}$ составляет: через 7 суток – 9,6 МПа, а через 28 – 16,2 МПа. Для МЗБ на глауконитовом песке – 4,3 МПа и 10,8 МПа соответственно.

Морозостойкость мелкозернистого бетона на техногенном глауконитовом песке составила всего 25 циклов попеременного замораживания и оттаивания, что соответствует марке F25 и связано с высокой капиллярной пористостью МЗБ.

Низкие показатели свойств мелкозернистого бетона на техногенном глауконитовом песке вызваны целым рядом факторов: минеральным составом (содержание глауконита и оксида фосфора); нерациональным зерновым составом (повышенное содержание зерен фракции 0,14 мм – 47,7%), высокой пустотностью – 40-43%. Это приводит к увеличению расхода цемента в среднем на 30-50 кг на 1 м³ бетона.

Поэтому для получения высококачественного МЗБ различного функционального назначения на техногенном глауконитовом песке проводили модификацию его структуры добавками. Вводимые в незначительных количествах, модифицирующие добавки оказывают влияние на процессы гидратации и кристаллизации, морфологию новообразований, и в целом на структуру затвердевшего цементного камня, изменяя тем самым свойства бетона – прочность, плотность, пористость, водонепроницаемость, усадку и т.д.

На кафедре ПСК ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия» теоретически и экспериментально обоснована возможность получения высокоэффективного декоративного мелкозернистого бетона (ДМЗБ) на глауконитовом песке за счет использования наномодификатора, полученного путем измельчения порошка диоксида титана дисперсностью 30 мкм в органическом растворителе в ультразвуковой ванне УЗВ-13/150-ТН-РЭЛТЕК.

Нанопорошки и наночастицы придают ряд уникальных и специфических свойств материалам, в которых они используются. Улучшение характеристик материалов связано с физико-химическими процессами и явлениями, происходящими на поверхности взаимодействующих фаз. Необходимо поэтому сформировать на поверхности этих частиц такие структуры, которые будут обеспечивать повышение их каталитических, реакционных и адсорбционных свойств, например, ускорение и полноту химических реакций, усиление молекулярного взаимодействия и др.

Для этого применяют специальные методы измельчения частиц до наноразмерного состояния. Исследование процессов, происходящих в условиях особо тонкого измельчения, открыло возможности для создания технологий, основанных на принципах и методах механохимии и твердофазного синтеза, с помощью которых можно придавать обрабатываемым матери-

алам необходимые свойства или создавать новые материалы. Кроме того, происходит не только интенсивное измельчение частиц, но и изменение их физико-химического состояния и структуры [1].

В настоящее время быстро развивающимся и многообещающим направлением научных изысканий является способ получения устойчивых суспензий наночастиц различных веществ в условиях ультразвукового воздействия, в основе которого лежит эффект акустической кавитации микроскопических пузырьков [2-4].

Механизм ультразвукового диспергирования – кавитация и потоки, возникающие в рабочей жидкости при захлопывании кавитационных пузырьков. В распространяющейся ударной волне максимальная амплитуда давления достигает нескольких тысяч килограмм-сил на квадратный сантиметр. За ударной волной следует волна, которая оказывает растягивающее действие и приводит к разрушению частиц.

Ультразвуковая обработка способствует однородности многокомпонентных смесей. Таким образом, ультразвук играет роль гомогенизатора смеси.

Проанализировав информационные источники и изучив научную литературу, установлено, что использование ультразвуковой обработки для получения нанодисперсных порошков является наиболее оптимальным в связи с простотой метода, получения наиболее монодисперсных порошков. На производстве данный способ является экологически безопасным, так как мелкодисперсные частицы не распыляются и не попадают в дыхательные пути персонала в виду измельчения частиц в жидкой среде, которая их смачивает и утяжеляет.

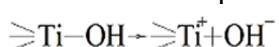
Одной из основных проблем, с которыми приходится сталкиваться при производстве наноразмерных частиц различных материалов, является их агломерация, снижающая дисперсность и равномерность распределения частиц в объеме бетонов и растворов, и, как следствие, однородность физико-механических свойств [6].

В работе для получения наномодификатора использовался модифицированный диоксид титана, на поверхности частиц которого адсорбированы фазы других веществ, отличающиеся от самого пигмента (табл. 2). Поверхностное модифицирование позволяет снизить химическую активность частиц диоксида титана, что приводит к повышению агрегативной устойчивости дисперсных систем.

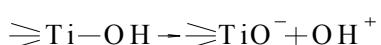
Таблица 2 –Свойства диоксида титана

Артикул	Диоксид титана рутильной формы	Диоксид титана анатазной формы
Содержание TiO ₂ , %	94	93
Влажность, %	0,5	0,5
Удельное сопротивление, Ом·см	11100	10000
Остатки фильтровки, %	0,00	0,05
pH водного раствора	8,4	5,5
Впитываемость масла, г /100·г	22,9	24,0
Дисперсность частиц, мкм	30	30
Осветляющая способность, точка	1860	1720
Содержание Al ₂ O ₃ , %	3,5	3,5
Содержание SiO ₂ , %	2,1	2,1

Содержащиеся на поверхности TiO₂ гидроксильные группы могут иметь как кислотный, так и основной характер. Анатаз гидролизуется по следующему механизму:



При этом его частицы заряжаются положительно. Рутил гидролизуется по схеме:



и его частицы заряжаются отрицательно. Однако в образцах рутила всегда остается 3-5% анатаза.

Как видно из таблицы 2, поверхность диоксида титана модифицирована солями кремния и алюминия, что увеличивает гидрофильность поверхности. При этом содержание в его составе SiO_2 не превышает 4,5%, а Al_2O_3 – 7,5% соответственно.

В работе для получения наномодификатора (НМ) использовался рутил, так как он наиболее подходит к материалам, применяемым для наружных работ. Для формирования межфазных слоев, препятствующих коагуляции, служит этиловый спирт, что не требует дополнительного введения стабилизатора и тем самым, упрощается получение наночастиц диоксида титана.

Разработанный наномодификатор на основе диоксида титана вводили в состав декоративной бетонной смеси на техногенном глауконитовом песке в количестве от 0,1-1% (в пересчете на сухое вещество). В качестве пигмента применялся железистый сурик по ГОСТ 8135.

Анализ полученных результатов показал, что с увеличением содержания нанодисперсной добавки на основе диоксида титана от 0,1 до 1% увеличивается подвижность бетонной смеси, что способствует значительному улучшению свойств декоративного мелкозернистого бетона. Как отмечалось выше, при изготовлении МЗБ на глауконитовом песке расходуется большое количество воды (60-80%), что может отрицательно сказываться на его свойствах. Та вода, которая не вошла в химическую реакцию с цементом, испаряется из бетона при его твердении, вызывая усадку и образуя открытые поры. Наличие пор ослабляет структуру бетонов и, как следствие, снижается плотность, прочность, морозостойкость и коррозионная стойкость. Использование НМ в составе бетона позволяет снизить количество воды затворения на 10-15%.

При использовании наномодифицирующей добавки на основе диоксида титана средняя плотность ДМЗБ увеличивается с 2256 кг/м³ до 2632 кг/м³, т.е. на 14%, что приводит к повышению прочности, морозостойкости и коррозионной стойкости.

Установлено, что при введении НМ повышается прочность декоративного мелкозернистого бетона на техногенном глауконитовом песке: в первые сутки в 1,6 раз с 14,8 до 23,8 МПа; в третий сутки твердения – в 1,8 раз с 22,1 МПа до 39,3 МПа, 7 и 28 сутки твердения – в 1,3 раза с 33,7 до 44,1 МПа и с 32,6 до 42,5 МПа соответственно (рис. 1).

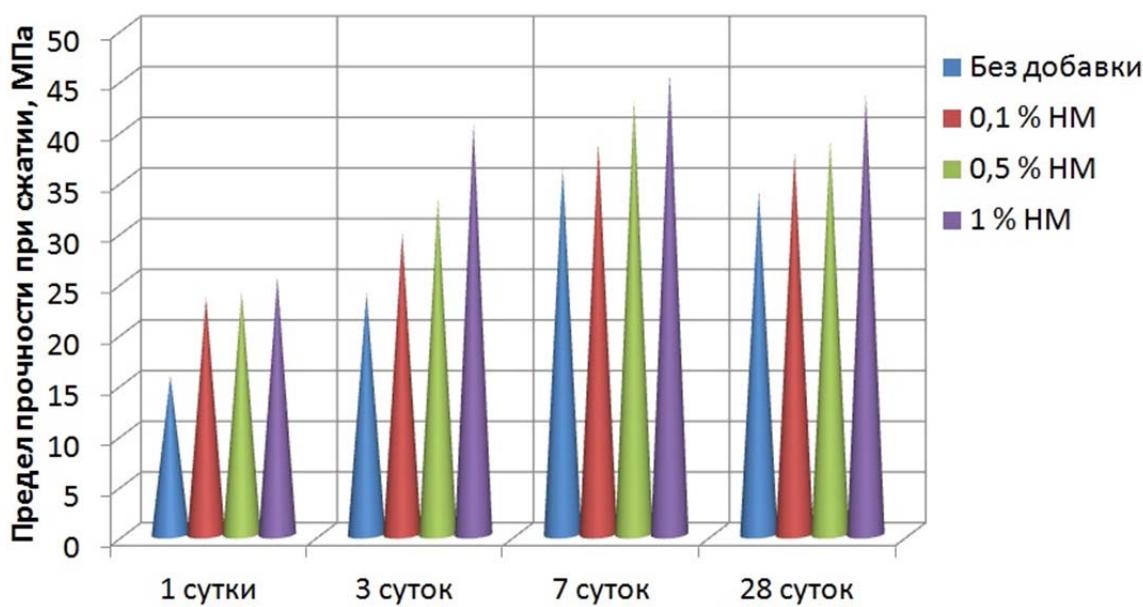


Рисунок 1 – Зависимость предела прочности при сжатии от содержания наномодификатора

Разработанный декоративный мелкозернистый бетон на техногенном глауконитовом песке по содержанию естественных радионуклидов относится к 1 классу по радиационной безопасности ($A_{3\phi} = 167 \text{ Бк/кг}$) и может использоваться без ограничений.

Таким образом, разработан экологически безопасный декоративный мелкозернистый бетон на основе техногенного глауконитового песка и наномодификатора, получаемого уль-

тразвуковым диспергированием порошка диоксида титана в спиртовой среде, превосходящий по показателям плотности, прочности и коррозионной стойкости бездобавочный материал.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дугуев, С.В. Тонкое и сверхтонкое измельчение твердых материалов – путь к нанотехнологиям [Текст] / С.В. Дугуев, В.Б. Иванова // Строительные материалы. – 2007. – №11. – С. 29-31.
2. Стеблева, О.В. Способ получения наночастиц углеродной фазы в процессе ультразвуковой кавитации [Текст] / О.В. Стеблева, А.Л. Верещагин, Г.В. Леонов // Ползуновский Вестник. – 2008. – № 1-2. – С. 38-40.
3. Толочко, Н.К. Ультразвуковое диспергирование углеродных наноматериалов [Текст] / Н.К. Толочко, П.Г. Становой, С.А. Жданок, А.В. Краукалис // Перспективные материалы. – 2008. – №2. – С. 5-9.
4. Федоткин, И.М. Использование кавитации в технологических процессах / И.М. Федоткин, А.Ф. Немчин. – Киев: Вища шк., 1984. – 68 с.
5. Хмелев, В.Н. Применение ультразвука в промышленности [Электронный ресурс] / В.Н. Хмелев, А.Н. Сливин, Р.В. Барсуков, С.Н. Цыганок, А.В. Шалунов // Образование: ультразвуковые технологии и аппараты / Бийский технологический институт. – Бийск: OIM.RU, 1994-2011. – Режим доступа: <http://u-sonic.ru/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti>.

Лукутцова Наталья Петровна

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

Постникова Ольга Андреевна

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Аспирант кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 953 284 99 49
E-mail: chudakovachka@mail.ru

Николаенко Андрей Николаевич

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Аспирант кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 920 831 69 77
E-mail: wnav111@yandex.ru

Мацаенко Анастасия Александровна

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Магистрант кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: 8 915 801 09 51
E-mail: macichka@yandex.ru

Тужикова М.Ю.

ФГБОУ ВПО «Брянская государственная инженерно-технологическая академия», г. Брянск
Магистрант кафедры «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 950 699 82 00
E-mail: maribn2012@yandex.ru

N. LUKUTCOVA, O. POSTNIKOVA, A. NIKOLAENKO,
A. MACAENKO, M. TUZHICOVA

THE IMPROVED ENVIRONMENTAL SAFETY OF DECORATIVE AND FINE-GRAINED CONCRETE ON THE BASIS OF THE USE OF TECHNOGENIC GLAUCONITIC SANDS

The possibility of use of glauconitic sand for production of decorative fine-grained concrete modified nano-additives. The work presents the results of investigations of the properties of glauconitic Sands and modified fine-grained concrete on its basis. Promising research directions include the environmental effectiveness of the use of technogenic sands, as the manner of utilization.

Keywords: *glauconite sand; decorative fine-grained concrete; nano-additive titanium dioxide; environment.*

BIBLIOGRAPHY

1. Duguev, S.V. Tonkoe i sverhtonkoe izmel'chenie tverdyh materialov – put' k nanotehnologijam [Tekst] / S.V. Duguev, V.B. Ivanova // Stroitel'nye materialy. – 2007. – №11. – S. 29-31.
2. Stebleva, O.V. Sposob poluchenija nanochastic uglerodnoj fazy v processe ul'trazvukovoj kavitacii [Tekst] / O.V. Stebleva, A.L. Vereshhagin, G.V. Leonov // Polzunovskij Vestnik. – 2008. – № 1-2. – S. 38-40.
3. Tolochko, N.K. Ul'trazvukovoe dispergirovaniye uglerodnyh nanomaterialov [Tekst] / N.K. Tolochko, P.G. Stanovoj, S.A. Zhdanok, A.V. Krauklis // Perspektivnye materialy. – 2008. – №2. – S. 5-9.
4. Fedotkin, I.M. Ispol'zovanie kavitacii v tehnologicheskikh processakh / I.M. Fedotkin, A.F. Nemchin. – Kiev: Visha shk., 1984. – 68 s.
5. Hmelev, V.N. Primenenie ul'trazvuka v promyshlennosti [Jelektronnyj resurs] / V.N. Hmelev, A.N. Slivin, R.V. Barsukov, S.N. Cyganok, A.V. Shalunov // Obrazovanie: ul'trazvukovye tehnologii i apparaty / Bijskij tehnologicheskij institut. – Bijsk: OIM.RU, 1994-2011. – Rezhim dostupa: <http://u-sonic.ru/primenenie-ultrazvuka-v-promyshlennosti>.

Natal'ja Lukutcova

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

Olga Postnikova

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Postgraduate student of the department «Production of building constructions»
Ph.: +7 953 284 99 49
E-mail: chudakovachka@mail.ru

Andrey Nikolaenko

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Postgraduate student of the department «Production of building constructions»
Ph.: +7 920 831 69 77
E-mail: wnav111@yandex.ru

Anastasija Macaenko

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Graduate student of the department «Production of building constructions»
Ph.: +8 915 09 51 801
E-mail: macichka@yandex.ru

M. Tuzikova

Bryansk state engineering and technological academy, Bryansk
Graduate student of the department «Production of building constructions»
Phone: +7 950 699 82 00
E-mail: maribn2012@yandex.ru

УДК 691

СОЛОМЕНЦЕВ А.Б., БУХТИЯРОВ С.В.

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СЦЕПЛЕНИЯ ДОРОЖНОГО БИТУМА С АДГЕЗИОННЫМИ ДОБАВКАМИ С ПОВЕРХНОСТЬЮ МИНЕРАЛЬНОГО МАТЕРИАЛА

Рассмотрены количественные и качественные методы оценки сцепления дорожного битума с минеральными материалами, проведена их сравнительная оценка. Рассмотрены взаимодействия при образовании поверхности раздела битум / минеральный материал. Определены показатели сцепления дорожного битума с разными адгезионными добавками к поверхности минерального материала. Проведено сравнение показателей сцепления, определенных количественным и качественным методами.

Ключевые слова: сцепление битума с минеральным материалом; битумная пленка; адгезионные добавки; азотсодержащие поверхностно-активные вещества.

Определение адгезии, т.е. сцепления дорожного битума с поверхностью минерального материала, проводят для оценки способности битумных прослоек в асфальтобетоне противостоять проникновению воды на поверхность раздела битум – минеральный материал и ухудшению вследствие этого физико-механических характеристик и долговечности асфальтобетона.

Для оценки сцепления вязкого дорожного битума, применяемого для асфальтобетона верхних слоев покрытий, используются как количественные, так и качественные методы [1, 2]. В России наибольшее распространение получил качественный метод для оценки сцепления битума с минеральными материалами и эффективности адгезионных добавок по ГОСТ 11 508-74 «Битумы нефтяные. Методы определения сцепления битума с мрамором и песком». Введу того, что для устройства верхнего слоя дорожного покрытия в большинстве случаев используются минеральные материалы из кислых горных пород, а природный песок не используется, то вместо мрамора в этом методе применяют гранитный материал фракции 2-5 мм. Сцепление вязкого дорожного битума с гранитным материалом определяется после 30 минут выдерживания в не бурно кипящей дистиллированной воде частиц этого гранитного материала, покрытых битумом, путем сравнения их с контрольными образцами №1, №2, №3. Для соответствия контрольному образцу №3 менее 3/4 поверхности минерального материала должно быть покрыто битумной пленкой. Для соответствия контрольному образцу №2 более 3/4 поверхности должно оставаться покрытой битумом после кипячения. Для соответствия контрольному образцу №1 битумная пленка должна полностью сохраняться на поверхности минерального материала после кипячения. Кроме оценки сцепления по ГОСТ 11508-74 определить качество сцепления вязкого дорожного битума с поверхностью щебня можно по ГОСТ 12801-98 «Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний». В этом качественном методе используется шесть зерен щебня размером не менее 10 мм. Битумную пленку на поверхности зерен получают погружением нагретых зерен щебня в вязкий битум, нагретый до технологической температуры 140-160°C. После выдерживания покрытых битумом зерен в течение 30 мин. в не бурно кипящей дистиллированной воде, извлечения и охлаждения зерна осматривают и проводят оценку качества сцепления. При оценке «пять баллов» (отличное сцепление) пленка вяжущего полностью сохраняется на поверхности, при этом толщина ее местами может быть уменьшена. При оценке «два балла» (плохое сцепление) пленка вяжущего менее 50% сохраняется на поверхности щебня, на обнажившейся поверхности наблюдаются отдельные капельки битума.

Вышеприведенные качественные методы основаны на визуальной оценке степени покрытия поверхности минерального материала битумом после кипячения. Метод красителей [3] позволяет количественно оценить степень покрытия поверхности битумом в процентах от об-

щей площади поверхности. Однако, этот метод, основанный на способности минеральных материалов адсорбировать полярные молекулы красителя метиленового голубого, не учитывает адсорбцию красителя на поверхности посуды и измельчение минерального материала при встряхивании [4]. Погрешность, вносимая этими факторами в результаты определения, составляет 20-30% [4]. Авторы в статье [4] предлагают методику количественной оценки сцепления битума с минеральным материалом, основанную на методике ГОСТ 11508-74. Количественная оценка сцепления проводится по остаточному содержанию битума на поверхности минерального материала в % от навески вязкого дорожного битума после кипячения частиц гранитного материала, покрытого битумной пленкой.

В Республике Беларусь нормируется коэффициент сцепления дорожного битума с гранитным щебнем со СТБ 1062-97 «Битумы нефтяные для верхнего слоя дорожного покрытия. Технические условия». Согласно методу, приведенному в СТБ 1062-97, за величину сцепления вяжущего и зерен гранитного щебня фракции 10-15 мм принимают отношение количества оставшихся после удара на пластине зерен щебня к общему количеству наклеенных на нее битумом зерен. Перед испытаниями пластину с наклеенными на нее зернами щебня выдерживают при 20°C в течение 60 мин. Этот количественный метод оценивает адгезию битума к поверхности щебня, поверхности металлической пластины и когезионную стойкость битумной прослойки, т.к. поверхность отрыва зерен щебня может быть поверхностью пластины, зерна или битумной прослойки.

В Украине используется количественный метод определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов [5, 6] по ДСТУ Б В. 2. 7-81-98 «Битумы нефтяные дорожные вязкие. Методы определения показателя сцепления с поверхностью стекла и каменных материалов». На поверхность стеклянной пластины размеров 90×115 мм и толщиной 3 мм наносят слой вязкого битума, выдерживают в воде при температуре 85°C в течение 25 мин., вынимают пластину из воды и подсчитывают в процентах площадь, оставшуюся покрытой битумом после кипячения.

С точки зрения термодинамики причиной адгезии является уменьшение свободной энергии на единице поверхности адгезионного шва в изотермическом обратимом процессе [6]. Адгезия жидкости к поверхности твердого тела W_a , вследствие невозможности непосредственного определения поверхностного натяжения твердого тела σ_1 , может быть рассчитана только косвенным путем: $Wa = \delta_2(1 + \cos\theta)$, где δ_2 , θ – измеряемые величины, соответственно, поверхностного напряжения жидкости и равновесного краевого угла смачивания, образованного жидкостью с поверхностью твердого тела. Из-за гистерезиса смачивания, не позволяющего точно определить краевой угол, обычно получают весьма приближенные значения [6]. Кроме того, им нельзя пользоваться в случае полного смачивания ($\cos\theta = 1$).

Существуют различные теории адгезии [7]: теория механической адгезии, молекулярная, электрическая, диффузионная теория, адгезия, обусловленная химическим взаимодействием. Ввиду того, что битум является высокомолекулярным соединением, наиболее применимой к случаю адгезии на поверхности раздела битум – минеральный материал является молекулярная (адсорбционная) теория. В приложении к полимерам она получила развитие в работах Мак-Ларена [7], Эдвардса, де Жена [8] и др. Адсорбцию полимеров по Мак-Ларену можно разделить на две стадии: 1) миграция больших молекул из раствора или расплава к поверхности субстрата в результате броуновского движения; при этом полярные группы или группы, способные образовывать водородную связь, приближаются к соответствующим группам субстрата; 2) установление адсорбционного равновесия. Согласно Мак-Ларену, в аморфном состоянии полимеры обладают большей адгезией, чем в кристаллическом, вязкость адгезива не должна быть слишком малой, а степень его полимеризации должна лежать в пределах 50-300.

Формирование адсорбционного слоя асфальтенов на поверхности раздела битум – минеральный материал лежит в основе модели битумной пленки на минеральном зерне, предложенной И.В. Королевым [9]. В результате влияния поверхностных сил минерального зерна образуется ориентированный слой битума, состоящий из твердообразной, структурированной

и диффузной зон. Твердообразная зона, граничащая с поверхностью минерального материала, представляет собой адсорбционный слой, предельно насыщенный асфальтенами. Структурированная зона состоит из упорядоченно расположенных высокомолекулярных компонентов битума. Диффузная зона характеризуется слабым упорядочением высокомолекулярной части и переходит в съемный битум.

Согласно представлениям З.И. Сюняева о нефтяных дисперсных системах (НДС) и сложных структурных единицах (ССЕ) в них [10], дорожные битумы можно отнести к нефтяным дисперсным системам, а асфальтены и ассоциаты асфальтенов представляют собой сложные структурные единицы, адсорбционно-сольватные оболочки которых состоят из смол и жидких углеводородов. Введение в нагретый битум, находящийся в жидким состоянии, адгезионных добавок, которые представляют собой, как правило, растворы катионных азотсодержащих маслорасторимых ПАВ [2, 11], приводит к изменению растворяющей способности дисперсионной углеводородной среды. В масляной среде адгезионной добавки азотсодержащие ПАВ находятся в агрегированном состоянии и образуют обратные мицеллы с углеводородными хвостами, ориентированными в объем растворителя, и гидрофобными головами, ориентированными внутрь [11]. В битуме мицеллы ПАВ распределяются в его объеме, адсорбируются на границе раздела дисперсионная углеводородная среда / ССЕ на поверхности адсорбционно-сольватного слоя, снижают поверхностное натяжение поверхности слоя, при этом будет происходить изменение и стабилизация размеров ССЕ. Часть мицелл ПАВ, находящихся в углеводородной дисперсионной среде будет принимать участие в солюбилизации полярных веществ-смол в масляной неполярной среде и процесс их растворения [11, 12]. При переходе ассоциатов асфальтенов (ССЕ) из объемного битума на поверхность минерального материала в процессе адсорбции наличие азотсодержащих ПАВ и взаимодействие их мицелл с ассоциатами асфальтенов обеспечивают более плотную упаковку и упорядоченное расположение в твердообразной зоне битумной пленки, ССЕ взаимодействие и связи с поверхностью каменного материала твердообразной зоны будут более сильными, что увеличит адгезионную прочность на границе раздела, противодействие отслаивающему действию воды будет увеличиваться.

Для сопоставления количественных и качественных методов оценки сцепления битума с каменным материалом были выбраны три метода: качественный метод по ГОСТ 11508-74 (пассивное сцепление), количественный метод по ДСТУ Б В.2.7-81-98, а также количественный метод, изложенный в [4].

При определении показателя сцепления использовался дорожный битум БНД 60/90, гранитный материал фракции 2-5 мм ОАО «Павловскгранит», адгезионные, азотсодержащие, катионные добавки Сондор (марки А), Амдор-10, Wetwfix BE, Дорос АП. Данные адгезионные добавки относятся к группе высокоеффективных добавок, их свойства приведены в [2]. При проведении испытаний по ДСТУ Б В.2.7-81-98 в процедуру приготовления к испытаниям и их проведения были внесены некоторые изменения. Одним из обязательных условий при проведении испытания в соответствии с ДСТУ Б В. 2.7.-81-98 является равномерное распределение битума по поверхности пластины. Лампа накаливания не обеспечивает выполнение этого условия, т.к. ее температуры недостаточно для оптимального нагрева вяжущего, и битумная пленка с трудом распределяется по поверхности пластиинки. Для равномерного и аккуратного распределения вяжущего пластиинка помещалась на цилиндрический керамический образец, находящийся в песчаной бане и нагретый до температуры 150°C. Распределение битума осуществлялось путем наклона пластины в разные стороны, при необходимости использовалась стеклянная палочка. Другое изменение связано с увеличением температуры воды при выдерживании пластины с битумной пленкой с 85°C до 100°C, т.к. при выдерживании в воде с температурой 85°C битумная пленка практически не отслаивается от поверхности стеклянной пластины. При не бурном кипячении при температуре воды 100°C происходит отслаивание битума от поверхности пластины.

Результаты определения сцепления битума с адгезионными добавками с помощью различных методов приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Сцепление битума с адгезионными добавками, определенное разными способами

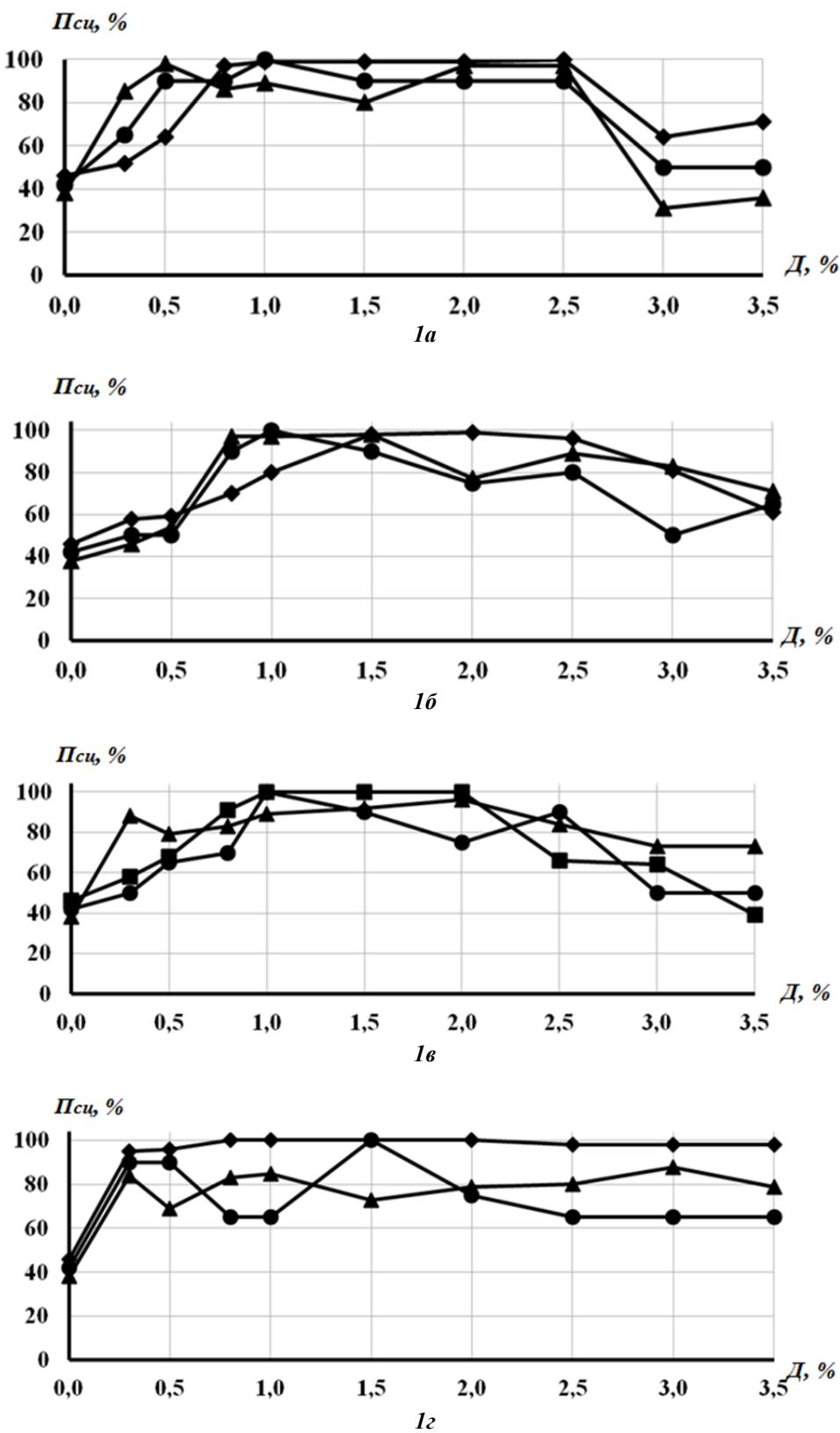
№ п/п	Наименование добавки	Метод определения сцепления	Показатель сцепления, при расходе добавок в % от массы битума							
			0,3	0,5	0,8	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	Сондор (марка А)	ГОСТ 11508-74	2→3	2→1	2→1	1	2→1	2→1	2→1	3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	52	64	97	99	99	99	100	64
		[4]	85	98	86	89	80	97	97	31
2	Амдор-10	ГОСТ 11508-74	3	3	2→1	1	2→1	2	2	3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	58	59	70	80	98	99	96	81
		[4]	46	54	97	97	98	77	89	83
3	Wetwfix BE	ГОСТ 11508-74	3	2→3	2	1	2→1	2	2→1	3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	58	68	91	100	100	100	66	64
		[4]	88	79	83	89	92	96	84	93
4	Дорос-АП	ГОСТ 11508-74	2→1	2→1	2→3	2→3	2→1	2	2→3	2→3
		ДСТУ Б В.2.7-81-98	95	96	100	100	100	100	98	98
		[4]	84	69	83	85	73	79	80	88

Цифры, указанные в таблице 1 для метода по ГОСТ 11508-74, обозначают соответствие контрольному образцу, по ДСТУ Б В.2.7-81-98 – процент покрытия площади пластины битумом после кипячения, по [4] – характеризует потерю битума по массе в процессе кипячения частиц, покрытых битумной пленкой в процентах. Показатель сцепления битума, определенный по ДСТУ Б В.2.7-81-98 составляет 46%, по ГОСТ 11508-74 – соответствует образцу №3, по [4] – 38% соответственно. Из таблицы 1 видно, что между методами по ГОСТ 11508-74 и ДСТУ Б В.2.7-81-98 прослеживается сходимость результатов. Показатель сцепления, определенный по [4], в меньшей степени согласуется со значениями показателей сцепления, определенными по первым двум методам.

С целью возможности представить полученные результаты в виде графиков были введены следующие допущения для показателей сцепления, определенных по ГОСТ 11508-74. Поверхность гранитных частиц, покрытых битумом после выдерживания в кипящей воде, соответствующая контрольному образцу №1 принята за 100%, соответствующая контрольному образцу №2 – за 75%, контрольному образцу №2→1 – 90%, контрольному образцу № 2→3 – 65%, контрольному образцу №3 – за 50%. На рисунке 1 представлены зависимости показателей сцепления от расхода адгезионных добавок в битуме с учетом вышеуказанных допущений.

Для битума с добавкой Сондор марки А (рис. 1, а) на участке с расходом добавки 0,3-0,8% разница значений показателя сцепления составляет 33-34%. При расходе добавки от 1,0 до 2,5% достигаются максимальные показатели сцепления по всем трем методам от 80 до 100%. Максимальная разница в значениях составляет 20% при расходе добавки 1,5%, минимальная – 3% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом добавки 3,0-3,5% значение показателя сцепления изменяются от 31% до 71%, разница в значениях показателей составляет 33 и 35% соответственно.

Для битума с добавкой Амдор-10 (рис. 1, б) на участке с расходом добавки 0,3-0,8% разница значений показателя сцепления составляет 12-27%. При расходе добавки от 1,0 до 2,5% достигаются максимальные показатели сцепления по всем трем методам и составляют 75-100%. Максимальная разница в значениях составляет 24% при расходе добавки 2,0%, минимальная – 8%, при расходе добавки 1,5%. На участке с расходом добавки 3,0-3,5% значения показателя сцепления изменяются от 50 до 83%, разница в значениях показателей составляет 10 и 33% соответственно.



Условные обозначения:

1а – для добавки Сондор (марки А)
1б – для добавки Амдор-10
1в – для добавки Wetwfix BE
1г – для добавки Doros AP

Определены показатели сцепления по:
–♦– ДСТУ Б В.2.7-81-98
–●– ГОСТ 11508-74
–▲– [4]

Рисунок 1 – Зависимость показателя сцепления $\Pi_{сц}$ от расхода Δ адгезионных добавок

Для битума с добавкой Wetfix BE (рис. 1, в) при расходе добавки от 0,3 до 0,8% разница значений показателя сцепления составляет 21-38%. Максимальные показатели сцепления достигаются на участке с расходом от 1,0 до 2,5% и составляют 66-100%. Максимальная разница составляет 34% при расходе добавки 2,5%, минимальная – 4,0% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом 3,0-3,5% показатель сцепления снижается по всем трем методам и находится в пределах от 39 до 73%, разница в значениях показателя сцепления составляет 23 и 39%.

Для добавки Дорос АП (рис. 1, г) при расходе добавки 0,3-0,8% показатель сцепления изменяется от 65 до 90%. Максимальные показатели сцепления достигаются на участке с расходом от 1,0 до 2,5% и составляют 65-100%. Максимальная разница составляет 35% при расходе добавки 1,0%, минимальная – 25% при расходе добавки 2,0%. На участке с расходом добавки 3,0-3,5% значение показателя сцепления изменяются от 65-98%, разница в значениях составляет 33%.

Обобщая вышеприведенные данные можно сказать, что сходимость результатов определения показателя сцепления по трем рассмотренным способам изменяется по-разному для четырех рассмотренных адгезионных добавок. При некоторых расходах добавок значения показателя совпадают или отличаются незначительно, максимальная разница в значениях показателя сцепления составляет 38%. Разброс в значениях показателей можно объяснить энергетической неоднородностью поверхности стеклянных пластинок, гранитных частиц, невозможностью создать при кипячении одностороннюю циркуляцию воды, а также реакционной неоднородностью структуры битума с добавками. Такой разброс в показателях отражает фактическое состояние битума с адгезионными добавками и его способность образовывать битумные пленки на минеральных поверхностях с различными адгезионными возможностями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адгезия [Текст]: Adhasives Verhalten: [пер. с нем.] / Bitumen, 1970, Bd 32, №8, с. 212-215, Всесоюзный центр переводов научно-технической литературы и документации. – Москва. – 1976. – 16 с.
2. Соломенцев, А.Б. Адгезионные добавки для дорожных битумов и асфальтобетонов и оценка их эффективности [Текст] / А.Б. Соломенцев // Строительство и реконструкция. – Орел: ГУ-УНПК. – 2013. – №1. – С. 81-85.
3. Колбановская, А.С. Метод красителей для определения сцепления битума с минеральными материалами [Текст] / А.С. Колбановская. – М.: Автотрансиздат, 1959. – 32 с.
4. Худякова, Т.С. Количественная оценка сцепления дорожных битумов с минеральным материалом [Текст] / Т.С. Худякова, Д.А. Розенталь, И.А. Машкова, А.В. Березников // Химия и технология топлив и масел. – 1987. – №6. – С. 35-36.
5. Золотарев, В.А. Об оценке адгезии битума к поверхности минерального материала [Текст] / В.А. Золотарев, Е.Н. Агеева // Технические, реологические и поверхностные свойства битумов. Избранные труды. Том 1 / В.А. Золотарев. – Санкт-Петербург: Славутич, 2012. – С. 95-98.
6. Соломенцев, А.Б. Адгезионные свойства и когезионная прочность дорожного битума с ПАВ класса имидазонинов [Текст] / А.Б. Соломенцев, В.В. Круть, В.В. Маляр, В.А. Золотарев // Наука и техника в дорожной отрасли, 1999. – №1. – С. 22-23.
7. Энциклопедия полимеров [Текст], Т. 1. – М.: Советская энциклопедия, 1972. – С. 21-25.
8. Рогдулин, В.И. Физикохимия поверхности: Учебник-монография [Текст] / В.И. Рогдулин. – Долгопрудный: Издательский дом «Интеллект», 2011. – 568 с.
9. Королев, И.В. О битумной пленке на минеральных зернах асфальтобетона [Текст] / И. В. Королев // Автомобильные дороги, 1981. – №7. – С. 23-24.
10. Сюняев, З.И. Нефтяные дисперсные системы [Текст] / З.И. Сюняев, Р.З. Сафиева, Р.З. Сюняев. – М.: Химия, 1990. – 226 с.
11. Поверхностно-активные вещества: синтез, свойства, анализ, применение [Текст] / К.Р. Лонге, под науч. ред. Л.П. Зайченко. – СПб.: Профессия, 2004. – 240 с.
12. Энциклопедия полимеров, Т 2. [Текст] – М.: Советская энциклопедия, 1974 – С. 674-675.

Соломенцев Александр Борисович

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

Бухтияров С.В.

ФГБОУ ВПО «Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс», г. Орел
Студент пятого курса специальности 270205 «Автомобильные дороги и аэродромы»
Тел.: +7 (920) 802 67 08

A. SOLOMENTSEV, S. BUKHTIYAROV

COMPARISON OF ROAD CLUTCH BITUMEN ADHESIVE ADDITIVES WITH THE SURFACE MINERAL MATERIAL

Considered quantitative and qualitative methods of coupling of bitumen with mineral materials, conducted comparative assessment. Examined the interaction in the formation of interfacial bitumen / mineral material. Identify indicators clutch bitumen with different adhesive additives to the surface of the mineral material. A comparison of performance clutch, certain quantitative and qualitative methods.

Keywords: adhesion of bitumen with mineral material; bitumen film; adhesive additives; nitrogen containing surfactants.

BIBLIOGRAPHY

1. Adgezija [Tekst]: Adhasives Verhalten: [per. s nem.] / Bitumen, 1970, Bd 32, №8, s. 212-215, Vsesojuznyj centr perevodov nauchno-tehnicheskoy literatury i dokumentacii. – Moskva. – 1976. – 16 s.
2. Solomencev, A.B. Adgezionnye dobavki dlja dorozhnyh bitumov i asfal'tobetonov i ocenka ih effektivnosti [Tekst] / A.B. Solomencev // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: GU-UNPK. – 2013. – №1. – S. 81-85.
3. Kolbanovskaja, A.S. Metod krasitelej dlja opredelenija sceplenija bituma s mineral'nymi materialami [Tekst] / A.S. Kolbanovskaja. – M.: Avtotransizdat, 1959. – 32 s.
4. Hudjakova, T.S. Kolichestvennaja ocenka sceplenija dorozhnyh bitumov s mineral'nym materialom [Tekst] / T.S. Hudjakova, D.A. Rozental', I.A. Mashkova, A.V. Bereznikov // Himija i tehnologija topliv i masel. – 1987. – №6. – S. 35-36.
5. Zolotarev, V.A. Ob ocenke adgezii bituma k poverhnosti mineral'nogo materiala [Tekst] / V.A. Zolotarev, E.N. Ageeva // Tehnicheskie, reologicheskie i poverhnostnye svojstva bitumov. Izbrannye trudy. Tom 1 / V.A. Zolotarev. – Sankt-Peterburg: Slavutich, 2012. – S. 95-98.
6. Solomencev, A.B. Adgezionnye svojstva i kogezionnaja prochnost' dorozhnogo bituma s PAV klassa imidazoninov [Tekst] / A.B. Solomencev, V.V. Krut', V.V. Maljar, V.A. Zolotarev // Nauka i tekhnika v dorozhnoj otrassli, 1999. – №1. – S. 22-23.
7. Jenciklopedija polimerov [Tekst], T. 1. – M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1972. – S. 21-25.
8. Rogdulin, V.I. Fizikohimija poverhnosti: Uchebnik-monografija [Tekst] / V.I. Rogdulin. – Dolgoprudnyj: Izdatel'skij dom «Intellekt», 2011. – 568 s.
9. Korolev, I.V. O bitumnoj plenke na mineral'nyh zernah asfal'tobetona [Tekst] / I. V. Korolev // Avtomobil'nye dorogi, 1981. – №7. – S. 23-24.
10. Sjunjaev, Z.I. Neftjanye dispersnye sistemy [Tekst] / Z.I. Sjunjaev, R.Z. Safieva, R.Z. Sjunjaev. – M.: Himija, 1990. – 226 s.
11. Poverhnostno-aktivnye veshhestva: sintez, svojstva, analiz, primenie [Tekst] / K.R. Longe, pod nauch. red. L.P. Zajchenko. – SPb.: Professija, 2004. – 240 s.
12. Jenciklopedija polimerov, T 2. [Tekst] – M.: Sovetskaja jenciklopedija, 1974 – S. 674-675.

A. Solomentsev

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

S. Bukhtiyarov

State university – educational-science-production complex, Orel
Student of the 5-th class specialty 270205 «Highways and airfields»
Ph.: +7 (920) 802-67-08

ФЕДОРОВ С.С., ТЮТЮНОВ Д.Н., КЛЮЕВА Н.В.,
СТУДЕНИКИНА Л.И.

К ВОПРОСУ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ РЕСУРСОЭФФЕКТИВНЫХ ЗДАНИЙ

В данной статье рассматривается один из вариантов стратегии управления теплоснабжением здания, подключенного к тепловым сетям по зависимой схеме. Проанализирована математическая модель управления процессом отопления здания в условиях поддержания постоянной температуры в отапливаемых помещениях и постоянно изменяющихся погодно-климатических параметрах.

Ключевые слова: управление системой отопления; ресурсосбережение; температура теплоносителя; теплоснабжение.

Оптимизация управления тепловыми потоками в системе отопления является одной из важнейших проблем в энергосбережении. В работах [1, 2] был проведен анализ теплового баланса в тонкостенном трубопроводе для стальных труб типоразмера с отношением внутреннего и внешнего диаметров $d_1/d_2 < 0,98$ / ГОСТ 10704–91 (рис. 1). Была получена зависимость:

$$t_A = t_k \left(1 - e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}} \right) + t_1 e^{-\frac{\tau-\tau_3}{T}}, \quad (1)$$

где t_1 , t_A , t_k – соответственно температуры: теплоносителя в подающем трубопроводе, точке A , воздуха в отапливаемом помещении, $^{\circ}\text{C}$; τ – время, с; τ_3 , T – соответственно время полного запаздывания в переходном процессе и постоянная тепловой нагрузки R , с.

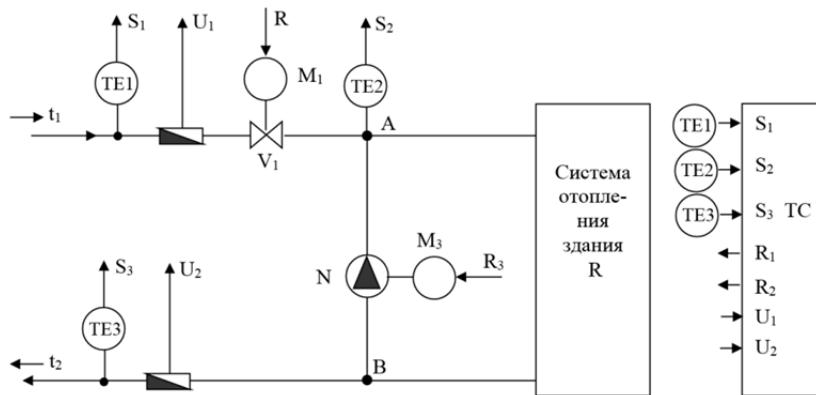


Рисунок 1 – Вариант зависимой схемы присоединения системы отопления со смешением воды

Опираясь на соотношение (1), была создана соответствующая структурная схема управления процессом отопления.

Учитывая конструкцию тепловой нагрузки, было установлено, что слагаемое, содержащее t_k в формуле (1), соответствует большей инерционности по каналу регулирования t_A в сравнении со вторым слагаемым, содержащим t_1 в этой формуле. В этом случае основной управляющей переменной является температура t_1 , а основной управляемой переменной – температура t_A в точке A , в которой происходит смешивание теплоносителя, поступающего через клапан V_1 , и охлажденной воды, подаваемой насосом N .

2. Формула (1) не учитывает влияние температуры t_h наружного воздуха, окружающего здание. Введем в рассмотрение переменную t_h , используя уравнение теплового баланса [3]. Для этого вычислим тепловой поток Q , пронизывающий стенки трубы, отапливаемое помещение, ограждающие стены и переходящий в окружающий здание воздух:

$$Q = k_1 \pi d_2 \ell (t - t_k) = k_2 F (t_k - t_h), \quad (2)$$

где t – температура теплоносителя на оси трубы, $^{\circ}\text{C}$; k_1 , k_2 – коэффициенты теплопередачи от теплоносителя внутри трубы в точке A к воздуху в обогреваемом помещении и от обогреваемого в помещении воздуха к наружному воздуху, окружающему здание, $\text{Вт} / \text{м}^2$.

Из [3] следует:

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}} + \frac{1}{\alpha_2}}, \quad (3)$$

где $\frac{1}{\alpha_1}$, $\frac{1}{\alpha_2}$ – соответственно, термические сопротивления теплоотдачи от теплой воды в трубопроводе к внутренней поверхности стенки трубы и от внешней поверхности стенки трубы к воздуху в обогреваемом помещении $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{град}$; $\frac{\delta_{mp}}{\lambda_{mp}}$ – термическое сопротивление стенки трубы, $\text{м}^2 \cdot \text{град} / \text{Вт м}^2$; d_2 , ℓ – соответственно, внешний диаметр трубы и длина трубопроводов в системе отопления, м.

$$k_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_3} + \frac{\delta_{cm}}{\lambda_{cm}} + \frac{1}{\alpha_4}}, \quad (4)$$

где $\frac{1}{\alpha_3}$, $\frac{1}{\alpha_4}$ – соответственно, термические сопротивления теплоотдачи от теплого воздуха в отапливаемом помещении к внутренней поверхности стенки ограждения здания и от внешней поверхности стенки ограждения к наружному воздуху, окружающему здание, $\text{Вт} / \text{м}^2 \cdot \text{град}$; F – общая площадь ограждающей здание поверхности, м^2 .

Преобразуем выражение (2) к виду:

$$t = \left(\frac{k_2 F}{k_1 \pi d_2 \ell} + 1 \right) \cdot t_k + \frac{k_2 E}{k_1 \pi d_2 \ell} \cdot t_h. \quad (5)$$

Введем обозначение:

$$\bar{k} = \frac{k_2 F}{k_1 \pi d_2 \ell}. \quad (6)$$

Подставляя (6) в (5) и рассмотрев сечение трубы в точке A , где $t = t_A$, получим:

$$t_A = (\bar{k} + 1) \cdot t_k - \bar{k} \cdot t_h. \quad (7)$$

По данным наблюдений известно, что слагаемое, содержащее t_k , соответствует большей инерционности по каналу регулирования t_A в сравнении со вторым слагаемым, содержащим t_h , т.е. основной управляющей величиной в этом случае является температура t_h наружного воздуха, окружающего здание. Основной управляемой переменной является температура t_A в точке A (см. рис. 1).

Найдем изменение Δt_A в зависимости от изменения Δt_k и Δt_h , соответственно, температур t_k и t_h :

$$\Delta t_A = (\bar{k} + 1) \cdot \Delta t_k - \bar{k} \cdot \Delta t_h. \quad (8)$$

Учитывая, что $\Delta t_k \ll \Delta t_n$, имеем:

$$\Delta t_A \approx -\bar{k} \cdot \Delta t_n. \quad (9)$$

Из формулы (9) следует, что, если $\Delta t_n > 0$, то $\Delta t_A < 0$, если же $\Delta t_n < 0$, то $\Delta t_A > 0$.

3. Используя соотношение (7), управление процессом отопления объекта при зависимом присоединении к сетям теплоснабжения можно представить в виде структурной схемы (рис. 2).

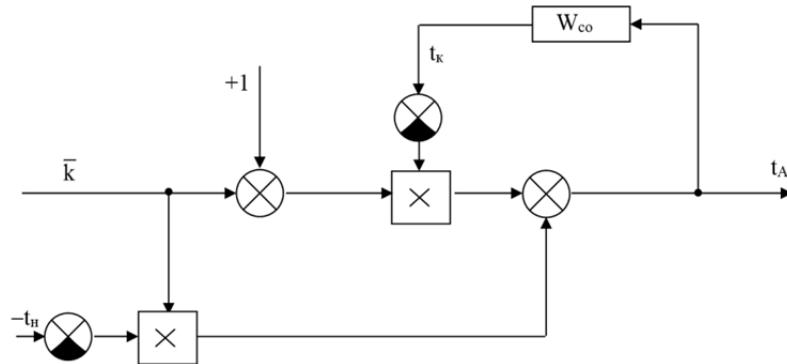


Рисунок 2 – Структурная схема управления процессом отопления здания при зависимом подключении к тепловым сетям

Следует отметить, что на основе экспериментальных данных переходных характеристик, имеющих вид гладких кривых, структуру объекта управления по каналу t_A можно представить в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном 1-го порядка, что теоретически обосновано в работе [4]:

$$W_{co} = \frac{k}{TS + 1} \cdot e^{-S\tau_3}, \quad (10)$$

где τ_3 , T – соответственно, время чистого запаздывания и постоянная системы отопления, с; k – коэффициент усиления; S – параметр.

Выводы

1. Создана математическая модель управления системой отопления зданий для случая зависимого присоединения тепловой нагрузки к тепловым сетям.
2. Разработана структурная схема управления процессом отопления зданий при зависимом присоединении к тепловым сетям в нестационарном режиме.
3. В процессе анализа полученной математической модели выявлены основная управляющая переменная t_n и основная управляемая переменная t_A .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С.С. Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения [Текст] / С.С. Федоров, Д.Н. Тютюнов, Н.В. Клюева // Строительство и реконструкция. – Орел: ГУ-УНПК. – №5. – С. 36-40.
2. Федоров, С.С. Математическая модель управления приводом системы отопления зданий и сооружений [Текст] / С.С. Федоров, Н.С. Кобелев, Д.Н. Тютюнов // Науч. вестн. ВГАСУ. – 2010. – №4. – С. 35-42.
3. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1981. – 417 с.
4. Чистович, С.А. Автоматизированные системы теплоснабжения и отопления [Текст] / Под общ. ред. С.А. Чистовича и др. – Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 248 с.

Федоров Сергей Сергеевич

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

Тютюнов Дмитрий Николаевич

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Высшая математика»

E-mail: tjutjunov@mail.ru

Клюева Наталия Витальевна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: klynavit@yandex.ru

Студеникина Лариса Ивановна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Кандидат педагогических наук, доцент кафедры «Высшая математика»

Тел.: +7 (4712) 52-38-24

S. FEDOROV, D. TYUTYUNOV, N. KLYUYEVA,
L. STUDENIKINA

**THE PROBLEM OF MODELING OF PROCESS CONTROL SYSTEM
OF HEAT-SUPPLY RESOURCE-EFFICIENT BUILDINGS**

In this article one of options of strategy of management is considered by a heat supply of the building connected to thermal networks on the dependent scheme. The mathematical model of management by process of heating of the building in the conditions of maintenance of constant temperature heated rooms and constantly changing weather and climatic parameters is analysed.

Keywords: management of heating system; resource-saving; heat carrier temperature; heat supply.

BIBLIOGRAPHY

1. Fedorov, S.S. Upravlenie sistemoj otoplenija zdanij s pozicij resursosberezenija [Tekst] / S.S. Fedorov, D.N. Tjutjunov, N.V. Kljueva // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: GU-UNPK. – 2013. – №5. – S. 36-40.
2. Fedorov, S.S. Matematicheskaja model' upravlenija privodom sistemy otoplenija zdanij i sooruzhenij [Tekst] / S.S. Fedorov, N.S. Kobelev, D.N. Tjutjunov // Nauch. vest. VGASU. – 2010. – №4. – S. 35-42.
3. Isachenko, V.P. Teploperedacha [Tekst] / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Jenergija, 1981. – 417 s.
4. Chistovich, S.A. Avtomatizirovannye sistemy teplosnabzhenija i otoplenija [Tekst] / Pod obshh. red. S.A. Chistovicha i dr. – L.: Strojizdat, Leningr. otd-nie, 1987. – 248 s.

S. Fedorov

Southwest state university, Kursk

Lecturer of the 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 the department «Higher mathematics»

E-mail: tjutjunov@mail.ru

N. Klyuyeva

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Industrial and civil construction»

E-mail: klynavit@yandex.ru

L. Studenikina

Southwest state university, Kursk

Candidate of pedagogical sciences, associate professor of the department «Higher mathematics»

Ph.: +7 (4712) 52-38-24

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 присыпать 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-uprk.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 23.01.2014 г.
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 6,06.
Тираж 400 экз.
Заказ № 146/14П1

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