

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

№ 8 (692)
Август 2016 г.

Научно-теоретический журнал
Издается с марта 1958 г.
Выходит один раз в месяц

Главный редактор В.Г. Себешев,
почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.

Редакционная коллегия:

А.А. Афанасьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Воробьев, чл.-кор. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.А. Игнатъев, д-р техн. наук, проф.
В.И. Костин, д-р техн. наук, проф. (зам. гл. редактора)
Г.Б. Лебедев, канд. техн. наук, доц. (зам. гл. редактора)
Л.С. Ляхович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.
В.И. Морозов, д-р техн. наук, проф.
Ю.П. Панибратов, акад. РААСН, д-р экон. наук, проф.
Ю.П. Правдивец, д-р техн. наук, проф.
В.Г. Себешев, почет. чл. РААСН, канд. техн. наук, проф.
Ю.А. Феофанов, д-р техн. наук, проф.
Е.М. Чернышов, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь Н.В. Биткина

Адрес редакции:

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113
Тел./факс +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

Свидетельство о регистрации № 993 от 28.11.90 г.

Подписано в печать 29.08.16. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 9,80+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 2400

ООО «Партнеры Сибири»,
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16

© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Митасов В.М., Стаценко Н.В. Динамический аспект образования стохастических трещин в бетонных и железобетонных конструкциях 5

Готман А.Л. Экспериментальные исследования работы опор из свай-колонн для трубопроводных сооружений и их расчет .. 12

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

Молодин В.В., Кузнецов С.М., Большаков Д.В. Измерение прочностных и адгезионных свойств жаростойкого бетона с углетканью 24

Мардиросова И.В., Проценко Н.А., Чернов С.А. Добавки для асфальтобетонных смесей с пониженной температурой приготовления..... 36

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Бузырев В.В., Владимиров С.А. Ускорение решения жилищной проблемы в Северо-Западном и

Уральском регионах путем создания кластеров индустриального домостроения на инновационной основе	44
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Уляшева В.М., Киборт И.Д. Об оценке эффективности системы утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха на базе теплового насоса	53
Шацкий В.П., Федулова Л.И., Гриднева И.В. К вопросу о моделировании двухступенчатого водоиспарительного охлаждения	59
Жулин А.Г., Белова Л.В. Упрощенная формула определения величины рН после дегазации подземной воды	67
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Романов К.Н., Баттулга Гэндэн, Тюменцев Е.Ю., Кварцхалая Т.Р., Гвоздев В.А., Абраменков Э.А. Дроссельный пневмоударный механизм с частичным вытеснением воздуха из камеры рабочего хода посредством трубки	77
НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ	
Меньшикова Е.П. Науки, обслуживающие сложнейшую модель общества – город	85
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Дубков В.В., Базинская А.М. Аналитическое определение параметров осцилляторно-вибрационного механизма дорожного катка	92
Назиров Р.А., Баженов Р.В., Игнатъев Г.В. Повышение температуры в угловом сопряжении стен из бруса с учетом тепловой неоднородности древесины ...	100
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Талантливый ученый-механик, изобретатель, педагог (Эдуарду Александровичу Абраменкову – 80 лет)	109

THE MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF RUSSIAN FEDERATION
INTERNATIONAL ASSOCIATION
OF CONSTRUCTION
HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

NEWS OF HIGHER EDUCATIONAL
INSTITUTIONS

CONSTRUCTION

Scientific-theoretical journal
Published since March 1958
Monthly

No. 8 (692)
August 2016

Editor-in-Chief V.G. Sebeshev, PhD, Prof.,
Honour. Mem. RAACS

Editorial Board:

A.A. Afanasyev, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Vorobyov, DSc (Eng), Prof., Corr. Mem. RAACS
V.A. Ignatyev, DSc (Eng), Prof.
V.I. Kostin, DSc (Eng), Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
G.B. Lebedev, PhD, Ass. Prof. (Deputy Editor-in-Chief)
L.S. Lyakhovich, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS
V.I. Morozov, DSc (Eng), Prof.
Yu.P. Panibratov, DSc (Econ), Prof., Acad. RAACS
Yu.P. Pravdivets, DSc (Eng), Prof.
V.G. Sebeshev, PhD, Prof., Honour. Mem. RAACS
Yu.A. Feofanov, DSc (Eng), Prof.
Ye.M. Chernyshov, DSc (Eng), Prof., Acad. RAACS

Responsible secretary N.V. Bitkina

The editorial office's address:

113 Leningradskaya St. Novosibirsk 630008
Phone number/fax +7 (383) 266 28 59
www.sibstrin.ru E-mail: izvuz_str@sibstrin.ru

CONTENTS

BUILDING CONSTRUCTIONS

Mitasov V.M., Statsenko N.V. Dynamic aspect of formation of stochastic crack in concrete and reinforced concrete structures 5

Gotman A.L. Experimental investigations of bearing pile supports behaviour for pipelines and their analysis 12

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

Molodin V.V., Kuznetsov S.M., Bol'shakov D.V. Measurement of the strength and adhesive properties of heat-resistant concrete with carbon fabric 24

Mardirosova I.V., Protsenko N.A., Chernov S.A. Additives for asphalt concrete mixes with the lowered preparation temperature 36

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION. AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

Buzyrev V.V., Vladimirov S.A. Acceleration solving the housing problem in the North-Western and

Urals region through the creation of clusters of industrial housing on an innovative basis	44
SANITARY ENGINEERING	
Ulyasheva V.M., Kibort I.D. About heat pump based air-heat recovery system efficiency assessment.....	53
Shatsky V.P., Phedulova L.I., Gridneva I.V. To the question of modeling water-evaporative coolers two-stage principle of operation	59
Zhulin A.G., Belova L.V. Simplified formula of pH measuring after ground water degasification	67
BUILDING AND ROAD MACHINES	
Romanov K.N., Battulga Genden, Tyumentsev E.Yu., Kvartskhalaya T.R., Gvozdev V.A., Abramnikov E.A. Throttle pneumoshock mechanism with partial displacement of air from the chamber of the stroke through the tube	77
SCIENTIFIC PROBLEMS OF ARCHITECTURE AND ECOLOGY	
Men'shikova E.P. Science serving the most complex model of society – the city	85
SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL SECTION	
Dubkov V.V., Bazinskaya A.M. Analytical parameters determination oscillator-vibrating mechanism rollers	92
Nazirov R.A., Bazhenov R.V., Ignat'ev G.V. Temperature increase in angular connection of walls from the bar taking into account thermal inhomogeneity of wood	100
JUBILEE'S ARTICLES	
Talented scientist – mechanic, inventor, teacher (Eduard Aleksandrovich Abramnikov – 80 years)	109

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



УДК 624.012.45

В.М. МИТАСОВ, Н.В. СТАЦЕНКО

ДИНАМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ОБРАЗОВАНИЯ СТОХАСТИЧЕСКИХ ТРЕЩИН В БЕТОННЫХ И ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

В работе представлены результаты экспериментальных исследований железобетонной балки на действие кратковременной статической нагрузки, позволившие оценить влияние динамического процесса при образовании и развитии трещины. В процессе испытаний использованы бесконтактные методы измерения деформаций поверхности, которые дали возможность определить последовательность появления и характер развития первой трещины.

Ключевые слова: диаграммно-энергетический метод, уравнение энергетического баланса, динамический процесс образования трещины, прогиб, бесконтактные методы измерения деформаций поверхности.

В монографии [1] представлена принципиально новая и нетрадиционная модель деформирования и разрушения железобетона – энергетический вариант теории сопротивления железобетона. Исследованы все стадии процесса деформирования конструкций вплоть до разрушения, предложен математический аппарат для описания этого процесса. За основу теоретических решений предложенной модели принят диаграммно-энергетический метод. Сформулированные положения новой расчетной модели позволили выдвинуть предложения по созданию сквозного расчета прочности, жесткости и трещиностойкости, как единого целого [2–4].

Были выдвинуты гипотезы о мгновенном образовании первой трещины, о динамическом характере продвижения трещины и об особенностях стабилизации колебаний конструкции с трещиной. Энергия растянутого бетона перераспределяется на арматуру (рис. 1), которая является тормозным элементом и препятствует бесконечному росту трещины и разрушению конструкции.

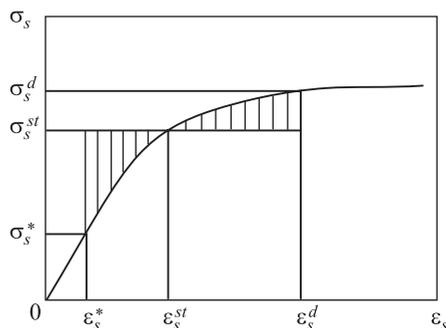


Рис. 1. Условная схема определения максимальных напряжений в арматуре в момент образования трещин

Внезапное появление трещины сопровождается мгновенным изменением напряженного состояния сечения. Если условно заморозить это мгновение, условие равновесия внешних и внутренних сил не соблюдается, поэтому было предложено уравнение равновесия заменить уравнением энергетического баланса [1]

$$W_{bt} + W_b + \delta A_k = W_{bt}^d + W_b^d + \Delta W_s^d + \Delta W_T, \quad (1)$$

где δA_k выражает дополнительную работу внешних сил, совершаемую нагрузкой в момент образования трещины на перемещении, вызванном уменьшением жесткости сечения с трещиной. Соотношение (1) свидетельствует о том, что стохастическое трещинообразование ведет к дополнительным повреждениям конструкции.

Почти мгновенное образование первой трещины порождает динамику процесса, одновременно с перераспределением усилий в сечении. В работе [5] упоминается о таком эффекте, полученном экспериментально. На кафедре проведена серия экспериментов, подтвердившая этот эффект [6, 7].

Исследования зарубежных физиков показали, что разрушение материала происходит из-за первой магистральной трещины, которая может «распространяться со сверхзвуковой скоростью и в сопровождении ударных волн, подготавливая почву для разлома конструкции» [8, 9]. Аналогичные результаты получены в экспериментальных исследованиях железобетонных и бетонных балок на действие статических кратковременных нагрузок [3, 4, 10, 11], которые косвенно подтверждают тот факт, что образование первой трещины порождает динамику процесса, одновременно с перераспределением усилий в сечении.



Рис. 2. Общий вид испытательной установки

В настоящей статье приведены результаты испытаний железобетонных балок с использованием специального оборудования, позволившего провести физические измерения для выявления количественных и качественных параметров динамического процесса образования стохастической трещины.

Были испытаны два опытных образца размером $100 \times 200 \times 2000$. Загружение балок производилось одной сосредоточенной силой в диапазоне $0 \div 60$ кН в середине пролета ступенями по 3,2 кН до образования трещин и далее до разрушения. Общий вид испытательной установки показан на рис. 2.

В процессе испытания проведены измерения прогибов исследуемых балок с использованием бесконтактной системы анализа деформированного состояния. Исследование напряженно-деформированного состояния балок в процессе нагружения производилось с помощью цифровой оптической системы VIC-3D, предназначенной для измерения геометрии деформаций и перемещений.

Процесс образования первой трещины опытного образца фиксировался высокоскоростной видеокамерой (Photron FASTCAM SA2 со скоростью съемки 1000 кадров в секунду). Для измерения виброскорости и прогиба при образовании трещины использован лазерный виброметр (Remote Sensing Vibrometer) RSV-150.

Измерения показателей нагрузки, деформаций и динамических параметров исследуемого фрагмента проводились синхронно.

Зависимость прогиба от нагрузки, построенная по результатам измерений лазерного виброметра RSV-150, приведена на рис. 3, диаграмма «нагрузка–прогиб» во времени – на рис. 4.

Диаграммы отражают линейный рост прогибов во времени, продолжающийся до 19,50 с испытания. Кривая зависимости прогибов от нагрузки

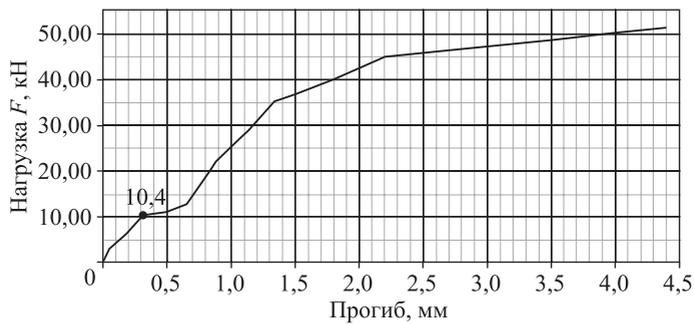


Рис. 3. Зависимость нагрузки от прогиба

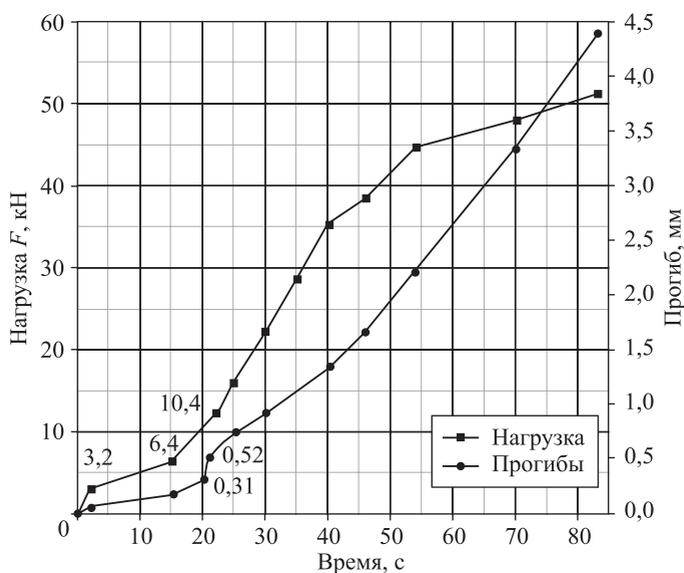


Рис. 4. Диаграмма «нагрузка – прогиб» во времени

в железобетонных балках имеет ярко выраженный участок резкого роста прогиба на 4-м этапе загрузки, что говорит о процессе микротрещинообразования.

Резкий скачок на диаграмме от 0,31 до 0,52 мм на 20 с обусловлен появлением первой трещины в середине пролета.

На рис. 5 показана диаграмма виброскорости точки в середине пролета, где образовалась стохастическая трещина. Скачок виброскорости на 20,44 с до 3,26 мм/с при нагрузке 10,4 кН соответствует образованию стохастической трещины и свидетельствует о динамическом характере ее появления.

Процесс возникновения и затухания колебаний, вызванных образованием стохастической трещины, показан на рис. 6.

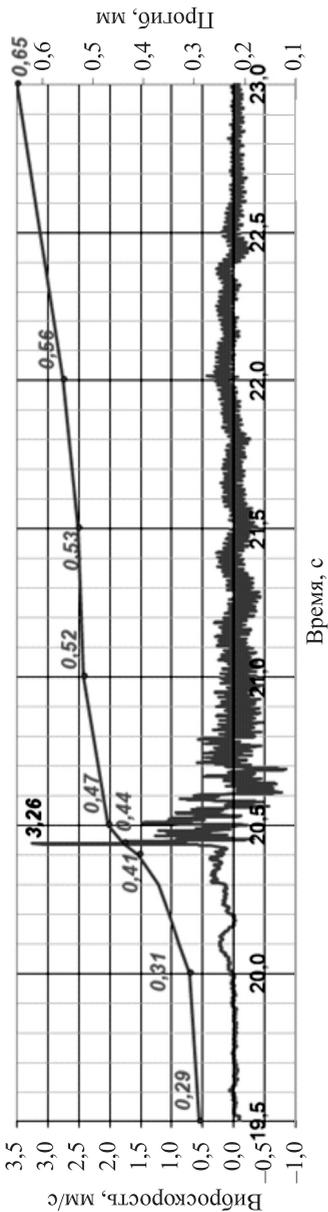


Рис. 5. Диаграмма зависимости виброскорости точки в середине пролета от времени

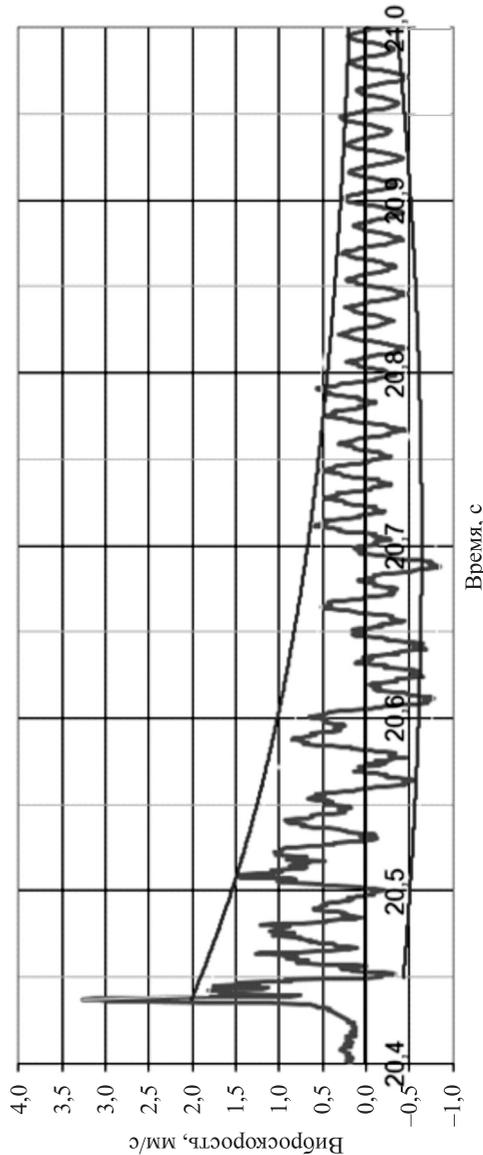


Рис. 6. Диаграмма возникновения и затухания колебаний

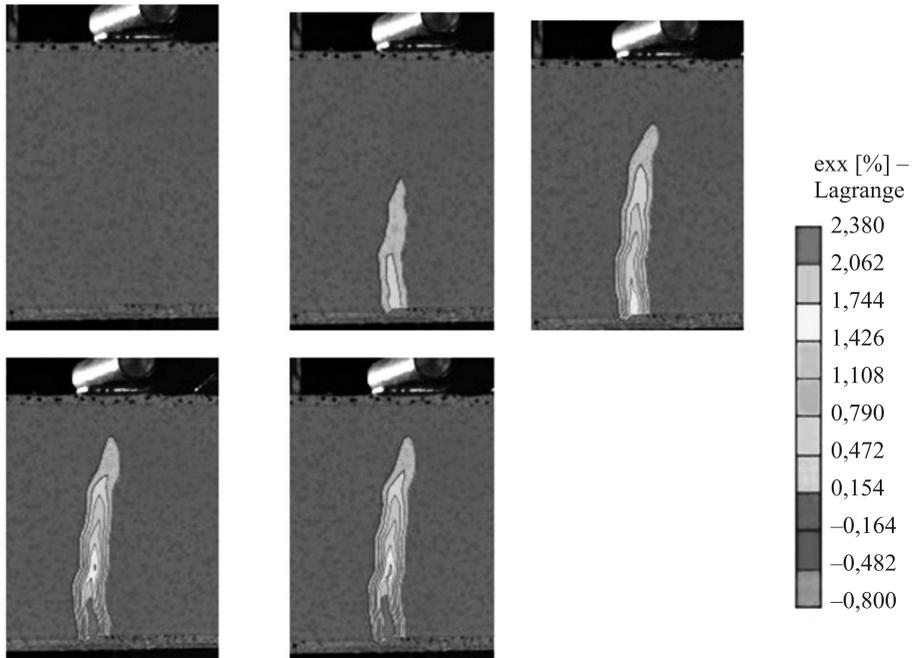


Рис. 7. Поля деформации в окрестности стохастической трещины

После образования трещины идет дальнейший, практически линейный, рост нагрузки (см. рис. 4).

Поля деформаций, полученные с использованием цифровой оптической системы VIC-3D, позволили определить последовательность появления и характер развития первой трещины.

На полях деформаций (рис. 7) зафиксировано изменение напряженного состояния растянутой зоны. Увеличение высоты растянутой части в окрестности трещины подтверждает гипотезу профессора В.И. Мурашёва о волнообразном характере нейтрального слоя.

Выводы. 1. Впервые прямым измерением получен результат, подтверждающий динамический характер образования стохастической трещины в растянутой зоне железобетонной балки (ранее динамический характер был подтвержден результатами статического эксперимента, т.е. косвенно).

2. В процессе измерений, осуществленных с использованием лазерного виброметра, удалось отследить весь процесс колебаний с начала возникновения и до затухания стохастической трещины.

3. Достоверность динамического характера образования (возникновения) стохастической трещины подтверждена измерениями двумя различными подходами: измерениями прогибов с помощью VIC-3D и измерением виброскорости с помощью лазерного виброметра RSV-150.

4. Экспериментально подтверждена гипотеза профессора В.И. Мурашёва о волнообразном характере нейтрального слоя на участке с трещинами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Митасов В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона: моногр. Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2010. 158 с.

2. Митасов В.М. Основные положения теории сопротивления железобетона (энергетический вариант). Новосибирск: Изд-во НГАСУ (Сибстрин), 2010. 168 с.
3. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные предпосылки построения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 5. С. 3–9.
4. Митасов В.М., Адищев В.В. Основные положения энергетической теории сопротивления железобетона // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 3–8.
5. Карабаш В.Г. Экспериментально-теоретические исследования работы арматуры изгибаемых железобетонных элементов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М.: МИСИ, 1953. 17 с.
6. Албаут Г.Н., Барышников В.Н., Митасов В.М. Моделирование образования и развития трещин в армированных балках // Изв. вузов. Строительство. 1996. № 8. С. 133–135.
7. Михайлова Н.С. Экспериментальные исследования железобетонных балок без трещин и с заранее намеченной трещиной // Изв. вузов. Строительство. 2007. № 4. С. 110–113.
8. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber // Physical Review Letters. 2005. Vol. 94. Ser. 048001.
9. Guodzen T.M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture // Physical Review Letters. 2005. Vol. 95. Ser. 224302.
10. Албаут Г.Н., Митасов В.М., Пичкурова Н.С., Табанюхова М.В. Модельное исследование влияния организованных трещин на напряженное состояние балок // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 6. С. 119–127.
11. Логунова М.А., Пешков А.С. Экспериментальные исследования бетонных балок без организованных трещин и с заранее организованными трещинами // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 1. С. 116–120.

Митасов Валерий Михайлович, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: mitassovv@mail.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Стаценко Наталья Валерьевна, асп.; E-mail: stacnat@yandex.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 12.07.16

Mitasov Valeriy Mikhaylovich, DSc, Professor; E-mail: mitassovv@mail.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Statsenko Natalia Valer'evna, Post-graduate Student; E-mail: stacnat@yandex.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

DYNAMIC ASPECT OF FORMATION OF STOCHASTIC CRACK IN CONCRETE AND REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Paper presents the results experimental studies of reinforced concrete beam on the short effect of the static load, allowed us to estimate the effect of the dynamic process in the formation and development of cracks. During the tests used contactless methods for measuring surface deformation, which made it possible to determine the sequence of appearance and character of the development of the first crack.

Key words: diagrammatically-energy method, energy balance equation, the dynamic process in the formation of cracks, deflection, contactless methods for measuring surface deformation.

REFERENCES

1. Mitasov V.M. Osnovnye polozheniya teorii soprotivleniya zhelezobetona: monografiya [Fundamental theses of reinforced concrete resistance theory: a monograph]. Novosibirsk: Izd-vo NGASU (Sibstrin), 2010. 158 p. (in Russian)
2. Mitasov V.M. Osnovnye polozheniya teorii soprotivleniya zhelezobetona (energeticheskiy variant) [Fundamental theses of reinforced concrete resistance theory (energy version)]. Novosibirsk: Izd-vo NGASU (Sibstrin), 2010. 168 p. (in Russian)
3. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye predposylki postroeniya energeticheskoy teorii soprotivleniya zhelezobetona [Main preconditions of creating energy theory of reinforced concrete strength]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 5. Pp. 3–9. (in Russian)
4. Mitasov V.M., Adishchev V.V. Osnovnye polozheniya energeticheskoy teorii soprotivleniya zhelezobetona [Main regulations of energy theory of reinforced concrete strength]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 6. Pp. 3–8. (in Russian)
5. Karabash V.G. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya raboty armatury izgibaemykh zhelezobetonnykh elementov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Experimental and theoretical study of the work of reinforcing bar reinforced concrete elements: Author. dis. PhD]. Moscow, MISI, 1953. 17 p. (in Russian)
6. Albaut G.N., Baryshnikov V.N., Mitasov V.M. Modelirovanie obrazovaniya i razvitiya treshchin v armirovannykh balkakh [The simulation of the emergence and development of cracks in the reinforced beams]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1996. No. 8. Pp. 133–135. (in Russian)
7. Mikhaylova N.S. Eksperimental'nye issledovaniya zhelezobetonnykh balok bez treshchin i s zaranee namechennoy treshchinoy [Experimental researching on reinforced beams without cracks and with organized crack]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2007. No. 4. Pp. 110–113. (in Russian)
8. Marder M. Shock-wave theory for rupture of Rubber. Physical Review Letters. 2005. Vol. 94. Ser. 048001.
9. Guodzen T.M., Jagla E.A. Supersonic Crack Propagation in a class of Lattice Models of Mode III Brittle Fracture. Physical Review Letters. 2005. Vol. 95. Ser. 224302.
10. Albaut G.N., Mitasov V.M., Pichkurova N.S., Tabanyukhova M.V. Model'noe issledovanie vliyaniya organizovannykh treshchin na napryazhennoe sostoyanie balok [Model study of influence of organized cracks on stress condition of beams]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2009. No. 6. Pp. 119–127. (in Russian)
11. Logunova M.A., Peshkov A.S. Eksperimental'nye issledovaniya betonnykh balok bez organizovannykh treshchin i s zaranee organizovannymi treshchinami [Experimental research of concrete beams without cracks and with specified cracks]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 1. Pp. 116–120. (in Russian)

УДК 624.154.001.5

А.Л. ГОТМАН

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ОПОР
ИЗ СВАЙ-КОЛОНН ДЛЯ ТРУБОПРОВОДНЫХ СООРУЖЕНИЙ
И ИХ РАСЧЕТ**

Представлены конструктивные схемы опор с применением свай-колонн под трубопроводы при их наземной прокладке. Дается методика расчета опор в виде одиночных, плоских и пространственных систем из свай-колонн, в том числе с крестовыми связями на горизонтальную нагрузку. Приводятся результаты экспериментальных исследований горизонтально нагруженных опор из свай-колонн в виде плоских систем с крестовыми связями в полевых условиях. По результатам экспериментов получены параметры напряженно-деформированного состояния опор, в том числе горизонтальные перемещения опор в различных уровнях, эпюры изгибающих моментов в свае-колонне и усиления в крестовых связях и нормальное давление грунта на боковой поверхности свай-колонн ниже уровня грунта. Результаты расчетов по предложенной методике сопоставлены с опытными данными и получена их удовлетворительная сходимости.

Ключевые слова: опоры трубопроводов, свая-колонна, горизонтальная нагрузка, эпюра моментов, перемещение.

Прокладка наземных трубопроводов на нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах, как правило, осуществляется на высоких опорах, по которым монтируются пролетные строения эстакад, или трубопровод укладывается непосредственно на опоры через траверсы. Наиболее эффективными являются опоры свай-колонн в виде одиночных, плоских и пространственных систем. В БашНИИстрой разработаны альбомы технических решений таких опор, где пространственные системы из свай-колонн применяются в основном как анкерные. В типовой серии 3.015-5/86, разработанной применительно к габаритным схемам отдельно стоящих опор серии 3.015-1/82, вып. 1 с нагрузкой до 200 кН на опору (типы I–III) и одноярусных эстакад серии 3.015-2/82, вып. 1 с нагрузкой до 20 кН/м (типы I к – IVк, III ж – VI ж), в качестве промежуточных и анкерных промежуточных опор приняты погружаемые до проектной отметки одна или две сваи-колонны квадратного сечения или полые круглые, на головы которых устанавливаются траверсы, анкерные опоры (концевые и угловые) металлические с фундаментами в виде кустов свай с монолитным ростверком. Конструкции пространственных связевых опор из свай-колонн в типовых сериях отсутствуют.

В целях дальнейшего расширения области применения свай-колонн к габаритным схемам отдельно стоящих опор серии 3.015-1/82, вып. 1 с нагрузкой 300–1000 кН на опору (типы IV, VII, VIII), двухъярусных эстакад серии 3.015-3/82, вып. 1 с нагрузкой 30–50 кН/м (типы XI ж, к, м – XIII ж, к, м) были предложены конструктивные решения промежуточных

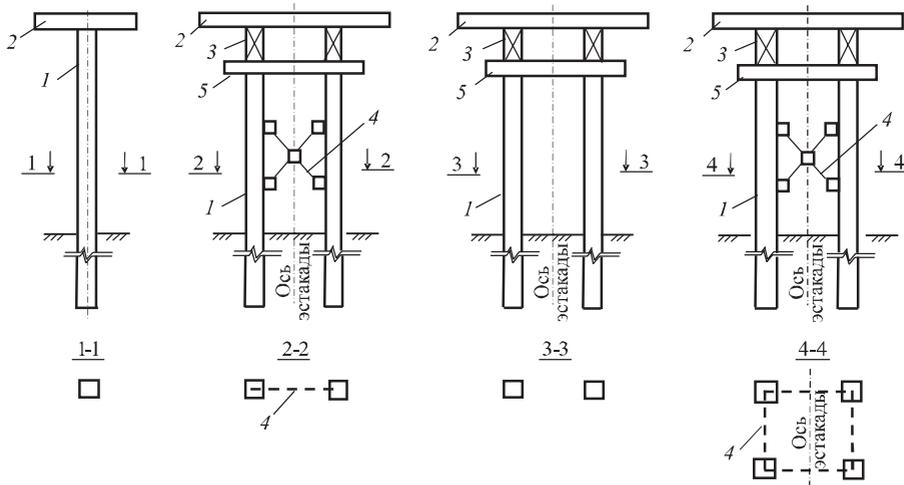


Рис. 1. Типы опор с применением свай-колонн

1 – колонна; 2 – траверса; 3 – пролетное строение; 4 – стальные связи; 5 – ригель опоры

и анкерных опор из 4–6 свай-колонн сечением 300×300, 350×350 и 400×400 мм с вертикальными крестовыми связями в зависимости от требуемой жесткости и высоты опор [1].

Конструктивные схемы таких опор из свай-колонн представлены на рис. 1.

При проектировании опор под трубопроводы определяющим критерием является их несущая способность на горизонтальную нагрузку и изгибающий момент. При этом надземная и подземная части свай-колонны при действии горизонтальной нагрузки работают как единая конструкция совместно с крестовыми связями.

Проблеме расчета свай на горизонтальную нагрузку посвящено большое количество работ [2–4 и др.], но все они разработаны для однородного по глубине основания с изменяющимся по глубине коэффициентом постели по линейной зависимости. В работах [5, 6] рассматривается многослойное основание, но расчет ведется только для свай ниже поверхности грунта, а верхняя часть свай-колонны в расчете не участвует.

Методика расчета опор из свай-колонн в виде плоской системы с крестовыми связями на горизонтальную нагрузку в общем виде разработана в НИИПромстрое [7], однако принятые допущения в расчетной схеме недостаточно полно соответствуют реальной работе свай-колонны, что приводит к существенным искажениям результатов расчета в сторону уменьшения надежности (расчет дает заниженные значения перемещений верха опоры). С учетом выявленных недостатков была усовершенствована расчетная схема опор (рис. 2), что позволило повысить достоверность методики расчета, несколько ее упростить и сделать более удобной для инженерных расчетов.

Методика расчета опор включает три этапа.

На первом этапе выполняется расчет усилий в характерных сечениях надземной части опоры. Определяются изгибающие моменты M_B и M_C в сечениях сопряжения связей с колонной по формулам:

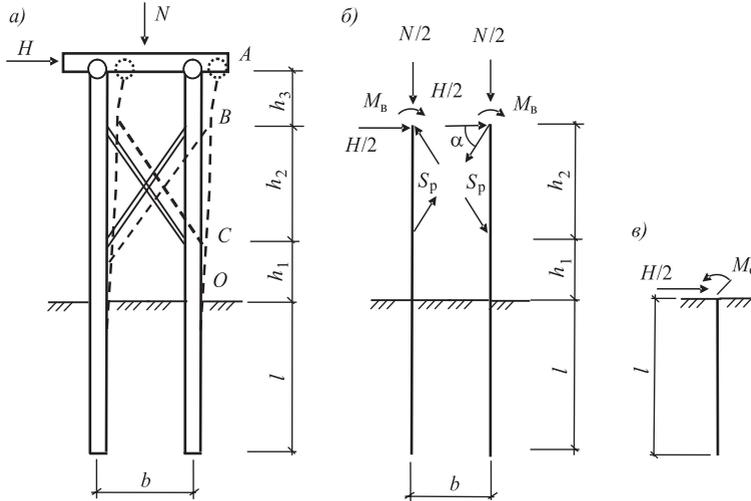


Рис. 2. Расчетные схемы опоры с применением свай-колонн
 а – деформационная схема опоры; б – расчетная схема опоры; в – расчетная
 схема сваи при расчете на горизонтальную нагрузку

$$M_B = \frac{H}{2} h_3, \quad (1)$$

$$M_C = M_B + \left(\frac{H}{2} - S \right) h_2, \quad (2)$$

$$S = \frac{H}{2} \varphi_1 + \frac{M_B}{h_1 + h_2} \varphi_2, \quad (3)$$

где φ_1 и φ_2 – безразмерные коэффициенты, принимаемые по табл. 1 в зависимости от $K_1 = \frac{h_1}{h_1 + h_2}$.

Таблица 1. Коэффициенты φ_1 и φ_2

K_1	φ_1	φ_2	K_1	φ_1	φ_2
0	1,00	1,50	0,5	1,38	2,25
0,1	1,01	1,53	0,6	1,61	2,78
0,2	1,05	1,61	0,7	2,02	3,54
0,3	1,12	1,74	0,8	2,85	5,19
0,4	1,22	1,94	0,9	5,34	10,18

Вычисляются изгибающий момент в уровне поверхности грунта

$$M_o = M_C + \frac{H}{2} h_1 \quad (4)$$

и усилие в раскосах крестовой связи

$$S_p = \frac{S}{\cos \alpha}, \quad (5)$$

где α – угол между раскосом и свайе-колонной.

На втором этапе находятся горизонтальные перемещения свайе-колонны как одиночной сваи без связей в уровне поверхности грунта U_o , угол поворота ψ_o от действия горизонтальной нагрузки $H/2$ и изгибающего момента M_o , приложенных к свае-колонне в уровне поверхности грунта (см. рис. 2, в), и горизонтальные перемещения для подземной части свайе-колонн.

На третьем этапе определяются горизонтальные перемещения верха свай-колонн

$$U_{\text{в}} = U_{\text{о}} + \frac{H(h_1^2 + h_3^2)}{6EJ} + \psi_{\text{о}}(h_1 + h_2 + h_3), \quad (6)$$

где h_1, h_2, h_3, H показаны на расчетной схеме (см. рис. 2);

E – модуль упругости материала свай-колонны;

J – момент инерции поперечного сечения свай-колонны;

$U_{\text{о}}, \psi_{\text{о}}$ – перемещение и угол поворота свай-колонны в уровне поверхности грунта.

В случае учета вертикальной нагрузки перемещение верха опоры определяется по формуле

$$U_{\text{в}, N} = U_{\text{в}} \frac{1}{1 - \frac{N(h_1 + h_3)^2}{\eta EI}}, \quad (7)$$

где N – вертикальная нагрузка, приходящаяся на одну сваю-колонну;

η – безразмерный коэффициент, зависящий от $K_2 = \frac{h_2}{h_2 + h_3}$ и принимаемый по табл. 2.

Таблица 2. Коэффициенты K_2 и η

K_2	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
η	2,47	2,83	3,41	4,10	5,00	6,26	7,99	10,30	13,58	17,24	20,19

Перемещения свай-колонн в уровне поверхности грунта можно определять с той или иной точностью любым известным методом. Задача заключается в том, чтобы результаты расчета достоверно учитывали реальную работу сваи в грунте, а именно, неоднородность основания по глубине, соответствие расчетных параметров грунта фактическим и конструктивные особенности сваи.

Для решения данной задачи разработан метод расчета свай на горизонтальную нагрузку с использованием метода конечных элементов (МКЭ). При этом за модель грунтового основания принята модель Винклера, основанная на теории местных деформаций [8].

МКЭ позволяет в расчетной схеме учесть многослойность основания, изменение поперечного сечения сваи по глубине, действие вертикальной нагрузки, а также схему работы сваи в грунте («жесткая», «гибкая», «конечной жесткости»). Коэффициент постели каждого слоя грунта определяется по деформационным характеристикам E и μ или по данным статического зондирования.

По результатам расчета устанавливаются горизонтальные перемещения опоры в любом уровне – от поверхности грунта до верха опоры, эпюры изгибающих моментов и поперечных сил по всей длине сваи колонны, включая надземную и подземную части, а также усилия в раскосах крестовой связи. Методика расчета реализована в виде компьютерной программы KOLONNA.

По этой программе рассчитываются опоры в виде систем из свай-колонн, а также колонны, смонтированные на фундаментах из различных видов свай.

С целью проверки методики расчета, оценки ее достоверности и уточнения напряженно-деформированного состояния опор на опытном полигоне были выполнены экспериментальные исследования, включающие статические испытания на вертикальную и горизонтальную нагрузки трех опытных пространственных связевых опор из свай-колонн. При испытаниях одна из опор загружалась постоянной вертикальной нагрузкой инвентарными грузами.

Опытные опоры состоят из объединенных крестовыми связями свай-колонн, причем одна или две из них выполнены в виде тензосвай-колонн из металлических труб $\varnothing 273$ и 325 мм, снабженных по двум противоположным граням тензодатчиками сопротивления, а в подземной части (до 5 м) – мессдозами давления. Железобетонные сваи-колонны сечением 300×300 мм, длиной 10 м изготовлены из тяжелого бетона класса В25 с продольной рабочей арматурой 4 $\varnothing 22$ АIII. По оголовкам сваи-колонны объединены траверсами из металлических двутавров. Расстояние между сваями-колоннами в плане $1,8 \times 1,8$ и $2,4 \times 2,4$ м, высота над уровнем поверхности грунта 5 м. Для измерения усилий в каждой панели крестовых связей установлены по 4 тензодатчика сопротивления.

Испытания опытных опор проводились путем попарного стягивания их на уровне верха гидродомкратом ГД-20 с насосной станцией НСР-400 по методике НИИпромстроя (за критерий стабилизации принималось горизонтальное перемещение 0,1 мм за 15 мин). Давление в гидросистеме контролировалось по манометру насосной станции.

На опытной площадке до глубины 15 м залегают аллювиально-делювиальные четвертичные глинистые отложения, до глубины 3 м – макропористая тугопластичная глина, ниже – глины полутвердые и твердые (табл. 3). Грунтовые воды вскрыты на глубине 6 м.

Испытания проводились в последовательности:

– совместно испытывались опоры № 1 и 2 до разрушения одного из узлов, при этом опора № 2 была загружена инвентарным грузом в 428 кН (по 107 кН на каждую сваю-колонну);

Таблица 3. Показатели физико-механических свойств грунтов опытной площадки

Глубина отбора образца, м	Природная влажность W	Плотность грунта, г/см ³		Плотность материальной части ρ_s , г/см ³	Характеристики пластичности			Показатель текучести I_L	Пористость n , %	Коэффициент пористости e	Коэффициент водонасыщения S_r	Удельное сцепление C , МПа	Угол внутреннего трения φ , град	Модуль деформации E , МПа
		природная влажность ρ	сухое состояние ρ_d		ω_L	ω_p	I_p							
1,8	0,32	1,73	1,31	2,74	0,45	0,24	0,21	0,38	52,2	1,233	0,803	0,020	26	13,6
3,0	0,34	1,80	1,34	2,74	0,46	0,26	0,20	0,4	51,1	1,260	0,891	0,035	20	16,9
4,0	0,29	1,87	1,45	2,74	0,42	0,25	0,17	0,24	47,1	1,151	0,893	0,025	27	16,5
5,0	0,30	1,90	1,46	2,74	0,45	0,25	0,20	0,25	46,7	1,231	0,937	0,045	21	22,1

– после перегрузки инвентарных грузов на опору № 3 было проведено совместное испытание опор № 2 и 3. Вертикальная нагрузка на опору № 3 составила 430 кН.

Перемещения характерных узлов свай-колонн опор измерялись при помощи прогибомеров Аистова 6ПАО и индикаторов ИЧ-25 и ИЧ-50 с ценой деления 0,01 мм в следующих уровнях:

- у траверсы опоры (верха);
- верхнего и нижнего сопряжения свай-колонн с раскосами связей;
- поверхности грунта.

Показания тензодатчиков на сваях-колоннах и панелях крестовых связей, а также месдоз давления снимались после достижения стабилизации перемещений на уровне поверхности грунта при помощи цифрового измерителя деформации ИДЦ-1.

Во время испытания опор № 1 и 2 при нагрузке 126 кН на растянутых гранях железобетонных свай-колонн раскрылись поперечные трещины шириной 0,4–0,6 мм выше и ниже верхнего узла сопряжения свай-колонн со связями на расстоянии 150–200 мм друг от друга и произошел отрыв закладной пластины растянутого раскоса у нижнего узла сопряжения связи со свай-колонной. Перемещения верха опор при этом соответственно составили у № 1 – 110,04 мм, у № 2 – 105,6 мм.

При совместном испытании опор № 2 и 3 (опора № 2 стягивалась в обратную сторону по сравнению с первым испытанием) при горизонтальной нагрузке 126 кН у свай-колонн на растянутых гранях раскрылись трещины выше и ниже узлов сопряжения с раскосами связей. При этом сжатые раскосы связей у опоры № 3 получили продольную деформацию, и у опоры № 2 произошел отрыв закладной пластины растянутого раскоса от свай-колонны. Перемещения опоры № 3 при этом составили 7,52 мм в уровне поверхности грунта и 42,42 мм в уровне верха опоры. Результаты испытаний опытных опор приведены в табл. 4.

По полученным показаниям приборов и результатам расчетов на ЭВМ по программе KOLONNA построены графики зависимости «нагрузка-перемещение» для тензосвай-колонн в уровне поверхности грунта и верха опор (в уровне приложения горизонтальной нагрузки) (рис. 3). При нагрузке

Таблица 4. Результаты испытаний пространственных связевых опор из свай-колонн на горизонтальную нагрузку

Опора	Вертикальная нагрузка на опору N , кН	Перемещение в уровне поверхности грунта U_o , мм, и верха опоры U_b , мм, при горизонтальной нагрузке H , кН															
		70				84				112				126			
		по опыту		по расчету		по опыту		по расчету		по опыту		по расчету		по опыту		по расчету	
		U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b	U_o	U_b
1	–	2,48	16,77	5,1	23,6	3,18	21,9	6,1	28,4	6,76	32,62	8,15	37,82	Разр.	узла	9,22	42,6
2	428	0,62	17,17	5,1	23,6	0,79	31,42	6,1	28,4	4,56	79,28	8,15	37,82	»		9,22	42,6
2	–	2,1	21,75	5,1	23,6	3,98	26,5	6,1	28,4	8,25	68,36	8,15	37,82	»		9,22	42,6
3	430	2,28	8,63	4,9	21,2	2,59	11,04	5,9	28,4	5,86	23,72	7,89	33,89	7,52	42,42	8,9	38,2

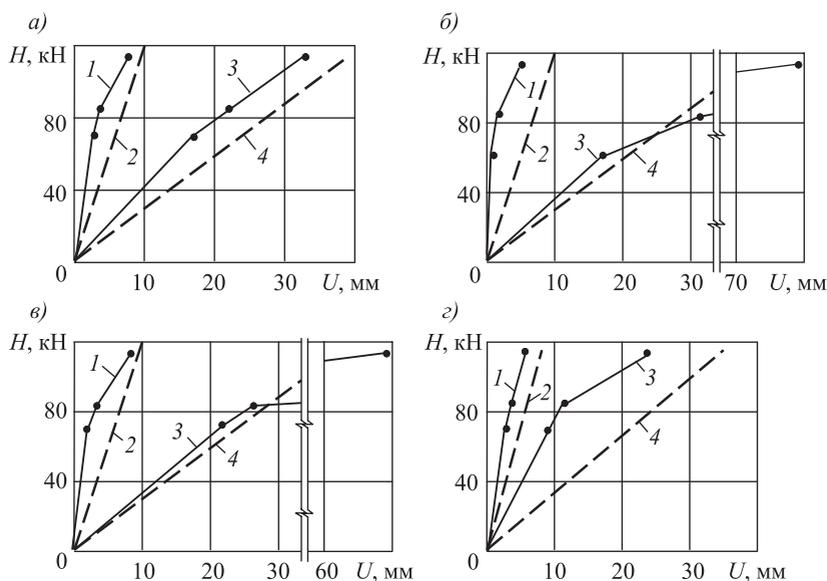


Рис. 3. Графики зависимости «нагрузка-перемещение»

а – тензосвая-колонна опоры № 1; б – тензосвая-колонна опоры № 2; в – тензосвая-колонна опоры № 2 при повторном испытании; г – тензосвая-колонна опоры № 3
 1 – перемещения в уровне поверхности грунта; 2 – то же по расчету; 3 – перемещения верха опор; 4 – то же по расчету

112 кН (предпоследняя ступень перед разрушением) перемещения в уровне поверхности грунта у опор № 1 и 2 меньше перемещений, полученных по расчету, на 17 и 44 %, а перемещения верха опор по опыту для опоры № 1 меньше перемещений по расчету на 13,4 %, а для опоры № 2 – больше на 109,6 %. Аналогичная картина наблюдалась и при совместном испытании опор № 2 и 3. Это наглядно видно из деформированной схемы опор при ступени, равной 112 кН. Средние перемещения по опыту при этой нагрузке в уровне поверхности грунта и верха опор соответственно составили для опоры № 2 – 8,25 и 68,36 мм (по расчету 8,15 и 37,82 мм), для опоры № 3 – 5,86 и 23,72 мм (по расчету 7,89 и 33,89 мм).

Большие перемещения верха опоры № 2 по сравнению с опорой № 1 (на 136 %), по-видимому, объясняются тем, что при перемещениях, близких к предельным, резко возрастает изгиб свай-колонн от приложенной к верху опоры № 2 вертикальной нагрузки 428 кН, составляющей около 60 % от несущей способности опоры на вертикальную нагрузку, а также и от раскрытия трещин в бетоне свай-колонн от горизонтальной нагрузки. А меньшие значения перемещений в уровне поверхности грунта у опоры № 2 по сравнению с опорой № 1 объясняются влиянием крестовых связей и вертикальной пригрузки на сопротивляемость горизонтальной нагрузке.

При испытании опор № 2 и 3 перемещения опоры № 2 в уровне поверхности грунта совпадают с перемещениями, полученными по расчету, а превышение опытных перемещений над расчетными у верха опоры № 2, видимо, вызвано ослаблением сечений железобетонных свай-колонн у верхнего узла сопряжения с раскосом от появившихся ранее трещин при первоначальном испытании.

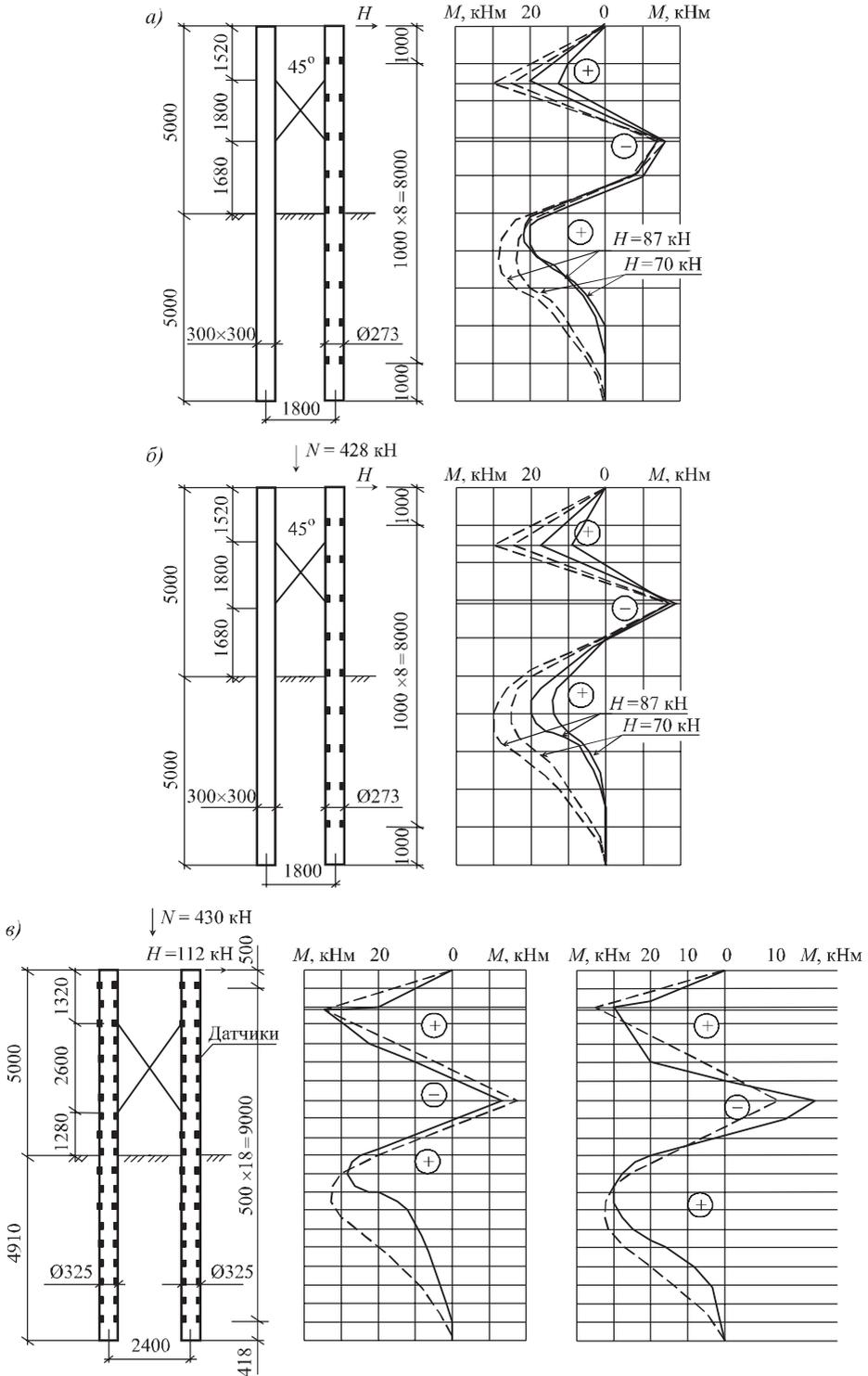


Рис. 4. Эпюры изгибающих моментов в сечениях тензосвай-колонн

а – опора № 1; б – опора № 2; в – опора № 3

пунктир – по расчету; сплошная линия – по опыту

Небольшие значения опытных перемещений верха опоры № 3 объясняются большей жесткостью пространственной системы, так как у этой опоры расстояние от траверсы (места приложения горизонтальной нагрузки) до верхнего узла сопряжения свай-колонн с раскосом меньше, чем у опоры № 2. Однако при горизонтальной нагрузке на опору, близкой к расчетной, значительно возрастает дополнительный прогиб от вертикальной нагрузки (430 кН), и поэтому перемещения опоры быстро возрастают и превышают перемещения по расчету (см. табл. 3). Опытные значения изгибающих моментов в тензосваях-колоннах опор № 1–3 при различных ступенях горизонтальных нагрузок идентичны по величине и характеру распределения изгибающим моментам, полученным расчетом (рис. 4).

В подземной части опор максимальные значения изгибающих моментов в сечениях тензосвай-колонн при всех горизонтальных нагрузках на 16–21 % меньше значений максимальных по расчету, что свидетельствует о незначительном влиянии вертикальной нагрузки на напряжения в сечениях свай-колонн в грунте. Характеру и максимальным значениям изгибающих моментов соответствуют и максимальные контактные давления грунта на боковой поверхности тензосвай-колонн, полученные по опыту и расчету (рис. 5).

Для тензосвай-колонны опоры № 2 при горизонтальной нагрузке 70 кН максимальное значение контактного давления грунта не превышает 0,075 МПа, а для двух тензосвай-колонн опоры № 3 при нагрузке 112 кН – 0,13 и 0,095 МПа. Точки нулевых перемещений для железобетонных свай-

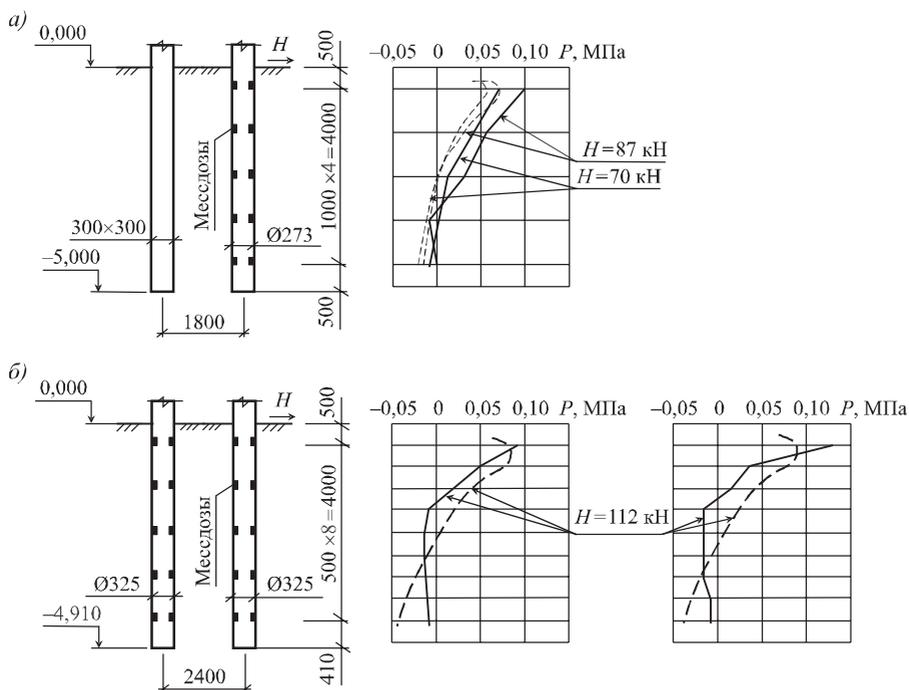


Рис. 5. Эпюры контактного давления грунта на боковой поверхности тензосвай-колонн

а – опора № 2; б – опора № 3;

пунктир – по расчету; сплошная линия – по показаниям мессдоз

колонн по расчету несколько отличаются от опытных, так как жесткость на изгиб у металлической тензосвай-колонны из труб $\varnothing 273$ мм (опора № 2) и $\varnothing 325$ мм (опора № 3) и железобетонных свай-колонн сечением 300×300 мм разная. Поэтому для тензосвай-колонны опоры № 2, как более гибкой, опытная точка нулевых перемещений находится на отметке $-3,15$ м от поверхности грунта, т.е. ниже, чем по расчету ($-2,4$ м), а для тензосвай-колонн опоры № 3 – несколько выше ($-1,8$ м).

Опытные усилия в сжатых и растянутых раскосах крестовых связей опор превышают на 30–40 % усилия по расчету (табл. 5), так как в формуле (5) влияние вертикальной нагрузки на перераспределение усилий в надземной части опор не учитывается.

Таблица 5. Усилия в раскосах крестовых связей S_p опытных пространственных связевых опор, кН

Метод определения усилий в раскосах	Опора	Вертикальная нагрузка на опору N , кН	Горизонтальная нагрузка на опору H , кН					
			70		98		112	
			Усилия в раскосах S_p , кН					
			растянутых	сжатых	растянутых	сжатых	растянутых	сжатых
По опыту	1	–	+90	–61	–	–	–	–
	2	428	+105	–96	–	–	–	–
По расчету	1, 2	–	+63	–63	+102	–102	+114	–114
По опыту	3	430	+64	–54	+90	–66	+107	–94
По расчету	3	–	+49	–49	+79	–79	+87	–87

Таким образом, анализ результатов расчетов и испытаний пространственных связевых опор из свай-колонн на горизонтальную нагрузку и на совместное действие вертикальной и горизонтальной нагрузок показывает, что при горизонтальной нагрузке опытные и расчетные перемещения опор имеют удовлетворительную сходимость, однако в случае совместного действия на опору вертикальной и горизонтальной нагрузок пренебрежение влиянием вертикальной нагрузки на деформацию верха опоры приводит к некоторым расхождениям расчетных и опытных перемещений при удовлетворительной сходимости опытных и расчетных перемещений в подземной части опор.

При учете в расчете вертикальной нагрузки (по формуле (7)) перемещение верха опоры увеличивается на 7–10 %, т.е. сходимость расчетных и опытных данных улучшается.

Учет в расчетах влияния вертикальной нагрузки на усилия в свае-колонне и раскосах должно стать предметом дальнейших исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Балеевских Б.С., Балеевских А.С. Исследование конструкции свайной опоры трубопроводов со связями в натуральных условиях // Научные исследования НИИпромстрой: тез. докл. и сообщ. конф. Уфа: НИИпромстрой, 1972. С. 43–48.
2. Лучковский И.Я., Лекумович Г.С. К вопросу о расчете свай на горизонтальную нагрузку в связном грунте // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1971. № 3. С. 17–18.

3. Снитко А.Н. Расчет гибких опор в грунтовой среде с изменяющимся коэффициентом постели // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1968. № 3. С. 6–8.
4. Буслов А.С. Работа свай на горизонтальную нагрузку за пределами упругости в связных грунтах. Ташкент: Фан, 1979. 106 с.
5. Сапожников А.И., Солгалов Ю.В. Расчет свай на горизонтальную нагрузку в нелинейно деформируемом основании // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1980. № 4. С. 9–11.
6. Schmidt B. Die Berechnung biegebeanspruchter elastisch gebetter Pfähle nach der Methode der finiten Elemente // Bautechnik. 1985. No. 1. S. 20–25.
7. Балеевских Б.С., Зиязов Я.Ш., Янышев Г.С. Расчет свайных опор со связями при совместной работе с основанием // Тр. НИИПромстроя. М.: Стройиздат, 1974. Вып. 15. С. 133–142.
8. Готман А.Л. Расчет свай переменного сечения на совместное действие вертикальной и горизонтальной нагрузок методом конечных элементов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2000. № 1. С. 6–12.

Готман Альфред Леонидович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gotmans@mail.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Получено после доработки 26.07.16

Gotman Alfred Leonidovich, DSc, Professor; E-mail: gotmans@mail.ru
Perm National Research Polytechnic University, Russia

EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF BEARING PILE SUPPORTS BEHAVIOUR FOR PIPELINES AND THEIR ANALYSIS

The paper presents the structural schemes of supports with the use of bearing piles under the pipelines while their overhead tubing. Method of analysis of supports in kind of single, plane and space systems consisting of the bearing piles under the horizontal load is given including supports with the cross-lap bonds. Results of the experimental field investigations of the laterally loaded supports of the bearing piles in kind of plane systems with the cross-lap bonds are given. According to experimental results, parameters of the supports stressed-deformed state including the horizontal displacements of supports in different levels, diagrams of the bending moments in the bearing pile, reinforcement in cross-lap bonds and normal soil pressure along the lateral surface of the bearing piles under the soil level are received. Results of the analysis by the method offered are compared to the test data and their satisfactory convergence is obtained.

Key words: pipeline support, bearing pile, horizontal load, diagram of the moments, displacement.

REFERENCES

1. Balееvskikh B.S., Balееvskikh A.S. Issledovanie konstruktсии svaynoy opory truboprovodov so svyazyami v naturnykh usloviyakh [Field investigation of the pipeline pile foundation with bonds]. Nauchnye issledovaniya NIIPromstroya: tezisy dokladov i soobshcheniy [Proceedings of NIIPromstroy: Thesis of reports of the conference]. Ufa, NIIPromstroy, 1972. Pp. 43–48. (in Russian)
2. Luchkovskiy I.Ya., Lekumovich G.S. K voprosy o raschete svay na gorizontol'nuyu nagruzku v svyaznom grunte [To the problem of pile analysis under the horizontal load in cohesive soil]. Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [Bases, foundations and soil mechanics]. 1971. No. 3. Pp. 17–18. (in Russian)

3. Snitko A.N. Raschet gibkikh opor v gruntovoy srede s izmenyayushchimsya koeffitsientom posteli [Analysis of slender supports in the soil with the variable coefficient of subgrade reaction]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, foundations and soil mechanics]. 1968. No. 3. Pp. 6–8. (in Russian)
4. Buslov A.S. Rabota svay na gorizontal'nyu nagruzku za predelami uprugosti v svyaznykh gruntakh [Horizontal load behavior of piles beyond the elasticity limits in cohesive soils]. Tashkent, FAN, 1979. 106 p. (in Russian)
5. Sapozhnikov A.I., Solgalov Yu.V. Raschet svay na gorizontal'nyu nagruzku v nelineyno deformiruемом osnovanii [Analysis of piles under the horizontal load in a nonlinear deformable base]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, foundations and soil mechanics]. 1980. No. 4. Pp. 9–11. (in Russian)
6. Schmidt B. Die Berechnung biegebeanspruchter elastisch gebetter Pfahle nach der Methode der finiten Elemente // *Bautechnik*. 1985. No. 1. S. 20–25.
7. Baleevskikh B.C., Ziyazov Ya.Sh., Yanyshchev G.S. Raschet svaynykh opor so svyazyami pri sovместной rabote s osnovaniem [Analysis of pile foundations with bonds while the combined action with the base]. *Trudy NIIPromstroya* [Proceedings of NIIPromstroy]. M., Stroyizdat, 1974. Iss. 15. Pp. 133–142. (in Russian)
8. Gotman A.L. Raschet svay peremennogo secheniya na sovместное deystvie vertikal'noy i gorizontal'noy nagruzok metodom konechnykh elementov [Analysis of the variable section piles under the combined action of the vertical and horizontal loads by the finite element method]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Bases, foundations and soil mechanics]. 2000. No. 1. Pp. 6–12. (in Russian)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.327:666.974.2

В.В. МОЛОДИН, С.М. КУЗНЕЦОВ, Д.В. БОЛЬШАКОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И АДГЕЗИОННЫХ СВОЙСТВ ЖАРСТОЙКОГО БЕТОНА С УГЛЕТКАНЬЮ

Цель работы – создание технологии футеровки, обеспечивающей простое и надежное изготовление эффективной и экономичной теплозащиты. Эффект достигается за счет совершенствования монолитной бетонной футеровки включением дисперсного армирования углеволоконными сетками и ламелями. Выполнены испытания по измерению прочности на осевое растяжение жаростойкого бетона и бетона с включением углеткани. Результаты выборки испытаний подчиняются закону нормального распределения. Величина адгезии соизмерима с прочностью бетона на растяжение, что доказывает возможность применения углеткани в бетоне в качестве армирующего компонента.

К л ю ч е в ы е с л о в а: адгезия, жаростойкий бетон, углеткань, сцепление, карбон.

В мировой практике тепловой защиты технологических аппаратов для металлургической промышленности традиционно преобладает футерование формованными термоизоляционными изделиями, как правило, основным, углеродистым, шамотным (с огнеупорной глиной) и кварцевым кирпичом. Такие футеровки имеют свои преимущества и недостатки. Изготовление штучных термоизоляционных изделий в заводских условиях несомненно позволяет обеспечить их высокое качество: прочность, термостойкость и очень важное для высокотемпературных технологических процессов низкое влагосодержание.

Сам материал формованных термоизоляционных изделий, за исключением ряда показателей, которые хотелось бы улучшить, особых нареканий у производителей (металлургов) не вызывает. Другое дело – внутренняя теплозащитная оболочка. Она представляет собой каменную кладку из шамотного кирпича внутри металлического корпуса технологического аппарата. Кирпичную кладку выполняют, как правило, на мастике, приготовленной на жидком стекле, или без нее (сухая кладка), с последующей засыпкой швов кладки магнезитовым порошком. Даже при самом тщательном соблюдении технологии приготовления мастики, по определению, она не может конкурировать по основным показателям с материалом заводского изготовления,

© Молодин В.В., Кузнецов С.М., Большаков Д.В., 2016

так как имеет повышенные пористость и влагосодержание. Не всегда соблюдаемая технология приготовления и сушки выдерживания в интересах качественного созревания чревата частичным разрушением структуры материала при ускорении сушки и первом нагреве. В результате футеровка кирпичной кладкой представляет собой неравномерный по прочности, пористости, влагонасыщению и структуре массив материала, призванный создавать теплоизоляционные условия высокотемпературному технологическому процессу и защищать корпус аппарата от воздействия высоких температур.

Все вышеизложенное ведет к выгоранию, а фактически разрушению материала в швах кирпичной кладки под действием высоких температур и химических воздействий со стороны шлаков и металла. Пространство между футеровочными кирпичами или блоками выщербляется и на следующем этапе наблюдается выпадание огнеупорных изделий из кладки футеровки. Это уменьшает толщину теплоизоляции, деформирует корпус агрегата и приводит к неизбежному скорому ремонту.

В зарубежной, да и отечественной практике достаточно широкое применение получили футеровки из монокристаллического жаростойкого бетона, особенно подины технологических агрегатов, где, как правило, требуется большая толщина теплозащиты и существуют наиболее благоприятные условия эксплуатации. Большие проблемы возникают при бетонировании футеровок стен и сводов. Систематические исследования жаростойких и обычных бетонов при нагреве проводились в бывшем Научно-исследовательском институте бетона и железобетона Госстроя СССР.

Анализ силовых деформаций бетона, проведенный В.И. Шевченко [1], показывает, что при нагреве блоков на их поверхности возникает сжатие, а в центре – растяжение. Например, в блоке толщиной 0,5 м при относительно быстром подъеме температуры (за 2 ч до 200 °С) деформации укорочения резко увеличиваются и составляют $(11,9-12,5) \cdot 10^{-4}$. В этот момент максимальные сжимающие напряжения в блоке 189 кг/см², а растягивающие – 24 кг/см², т.е. уже при температуре 200 °С при ее скорости подъема 100 °С / ч возможно появление трещин во внутренних слоях блоков за счет значительных растягивающих напряжений.

Такие напряжения, являющиеся следствием больших температурных градиентов, разрушают внутренние поверхности монокристаллических футеровок, причем разрушения имеют взрывообразный характер [2], что, вместе с возрастающим температурным градиентом, отрицательно влияет на прочность материала остающегося теплозащитного слоя и ведет к новым разрушениям. С этим явлением пытаются бороться. В бетоне футеровки, подвергающемся воздействию рабочих температур, прорезаются температурные компенсационные швы, которые, с одной стороны, снижают возникающие в процессе эксплуатации напряжения, но с другой, – ослабляют структуру материала, открывая прямой доступ носителям высоких температур – продуктам горения, расплавленным металлам и шлакам – к внутренним зонам футеровки, создавая тем самым неравномерность температурного поля и еще более усложняя термонапряженное состояние материала.

Традиционным приемом разгрузки бетона от возникающих в нем напряжений является армирование. Однако нормативные документы

(СП 52-110–2009) регламентируют размещение арматуры в наиболее холодной зоне футеровки, где она служит только для фиксации теплозащитного слоя посредством арматурных стержней, соединяющих ее с металлическим корпусом технологического аппарата. Армирование внутренних зон футеровок, подвергающихся воздействию высоких температур, принятыми в железобетоне металлическими стержнями и сетками, не всегда уместно. При температурах плавления металлов более 400 °С на поверхности футеровки стальная арматура теряет свои механические свойства – прочность и жесткость. Эффективность ее введения в бетон теряется. В этом случае напряжения в бетоне высокотемпературной зоны в процессе нагрева нарастают и разрушений избежать не удается.

Также имеется практика применения жаростойкого фибробетона, исследование над которым проводили Н.П. Жданова и А.П. Тарасова [3], где армирующим компонентом была фибра из нихромовой проволоки. В.В. Жуков, Е.Н. Шустова, Г.А. Григорян и В.И. Шевченко [4] в качестве армирующего компонента применяли стальную гофрированную фибру.

Практика использования металлической фибры в жаростойком бетоне представляет определенные трудности, а именно, при нагревании разнородность коэффициентов термического расширения металлических волокон и бетона может вызвать появление высоких напряжений и образование хаотичных трещин, а также коррозию металла в теле бетона при наличии паров воды в процессе высушивания при 100 °С. Разрешить эту проблему может арматура, способная сохранять свои армирующие свойства при высоких температурах. Таким материалом может служить углеволокно – материал, способный при температурах до 3000 °С выдерживать усилие в 1,0–1,5 ГПа. Согласно исследованиям Т.А. Соловьевой, Т.К. Акчурина, О.Ю. Пушкарской [5], выполняя роль фиброармирующего компонента в цементном бетоне, углеволокна обеспечивают трещиностойкость композиции, снижая деформацию усадки и внутренние напряжения.

Для определения целесообразности применения для армирования жаростойких бетонов углеволоконными сетками и ламелями были выполнены лабораторные исследования по вычислению адгезии углеткани с жаростойким бетоном на жидком стекле.

Объектом исследований являлась технология монолитной бетонной футеровки металлургических аппаратов, работающая в условиях длительных высоких температур. Предмет исследований – армирование жаростойкого бетона углеволокном для повышения трещиностойкости и стойкости к термическим напряжениям. Цель работы – создание технологии, обеспечивающей простое и надежное изготовление эффективной и экономичной теплозащиты, за счет совершенствования монолитной бетонной футеровки включением дисперсного армирования углеволоконными сетками и ламелями.

В процессе работы необходимо решить следующие задачи:

1) в связи с тем, что в нормативных документах нет значения прочности на осевое растяжение жаростойкого бетона на жидком стекле, необходимо определить ее. Для опытов был принят широко применяемый в металлургии бетон состава № 15 (СН 156-79);

2) одновременно установить прочность на растяжение аналогичных образцов с включением прослойки из углеткани.

Состав жаростойкого бетона № 15 был принят не случайно – это жаростойкий бетон на жидком стекле с отвердителем из кремнефтористого натрия с шамотным заполнителем. Он характеризуется хорошей огнеупорностью до 1550 °С и стойкостью к агрессивным средам. Объемный вес бетона в высушенном состоянии составляет 2000 кг/м³. Состав бетона на 1 м³ бетонной смеси, кг: жидкое стекло, $\rho = 1,36\text{--}1,38 \text{ г/см}^3$ – 550; кремнефтористый натрий – 66; мертель шамотный МШ-28 – 500; шамот класса Б (мелкий + крупный) – 500 + 750. Углеткань (карбон) применялась плетения twill 12К, плотностью 400 г/м².

Было изготовлено две серии образцов размером 100×100×150 с углетканью и без углеткани. Конструктивная схема испытываемых образцов показана на рис. 1.

После изготовления все образцы были подвергнуты сушке по ускоренному режиму в сушильном шкафу ВШ-0,035, аналогично опытам В.И. Шевченко [1] для определения термонапряженного состояния бетона при его сушке и первом температурном нагреве. Выбор ускоренного режима сушки не случаен. Дело в том, что выбирая режим сушки бетона, нужно учитывать технологические параметры пуска тепловых аппаратов на производстве. График сушки приведен на рис. 2.

Согласно исследованиям А.П. Тарасовой [2], выдержка при температуре 200 °С в течение 12 ч способствует удалению практически всей избыточной влаги из бетона. После со скоростью 50 °С/ч производят нагрев до рабочей температуры.

Испытания образцов проводились в лаборатории кафедры технологии и организации строительства Новосибирского государственного архитектурно-строительного университета. Разрыв образцов производился на прессе ПСУ-50 с максимальным усилием 50 т. Для вероятностной оценки разрыва образцов создана база данных на основе результатов натуральных испытаний. Для ее обоснования проводились два этапа проверки: логическая и математическая [6, 7]. После формирования выборки в соответствии с ГОСТ Р 8.736–2011 проверялась ее принадлежность закону распределения с помощью критериев согласия

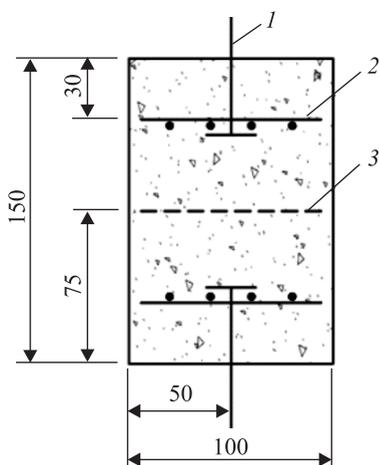


Рис. 1. Схема испытываемого образца

1 – болт М14; 2 – сетка Ø3 Вр-1; 3 – углеткань

ки разрыва образцов создана база данных на основе результатов натуральных испытаний. Для ее обоснования проводились два этапа проверки: логическая и математическая [6, 7]. После формирования выборки в соответствии с ГОСТ Р 8.736–2011 проверялась ее принадлежность закону распределения с помощью критериев согласия

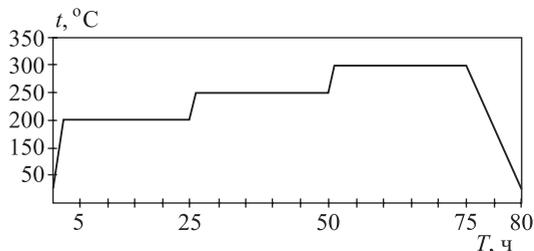


Рис. 2. График сушки образцов

Пирсона и Колмогорова – Смирнова. Далее по информации, хранящейся в базе данных, рассчитывалась величина разрыва образцов [8].

Результаты испытания двух серий образцов приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1. Результаты испытания образцов

Образец	Прочность на осевое растяжение, кПа	Образец	Прочность на осевое растяжение, кПа	Образец	Прочность на осевое растяжение, кПа	Образец	Прочность на осевое растяжение, кПа
<i>Образцы без углеткани</i>							
1	724,27	17	767,93	33	756,35	49	741,24
2	797,26	18	766,65	34	738,20	50	733,40
3	731,63	19	714,66	35	782,15	51	725,45
4	768,32	20	757,82	36	747,42	52	757,63
5	716,42	21	761,84	37	694,74	53	778,33
6	745,85	22	754,19	38	806,38	54	780,09
7	743,30	23	822,96	39	761,45	55	750,37
8	724,96	24	676,11	40	687,98	56	718,88
9	723,88	25	747,42	41	807,46	57	714,36
10	757,82	26	739,97	42	737,71	58	744,97
11	768,71	27	747,52	43	774,21	59	690,23
12	809,33	28	786,47	44	783,82	60	737,61
13	757,04	29	717,50	45	757,92	61	825,90
14	725,74	30	779,21	46	760,28	62	743,11
15	766,06	31	720,84	47	687,88	63	748,60
16	830,32	32	718,09	48	756,15	64	774,50
<i>Образцы с углетканью</i>							
1	737,81	17	710,05	33	677,18	49	757,14
2	700,92	18	740,16	34	776,56	50	721,72
3	751,15	19	777,25	35	740,16	51	751,05
4	708,38	20	737,32	36	698,57	52	736,63
5	715,64	21	681,70	37	714,46	53	732,91
6	708,48	22	725,25	38	699,16	54	671,20
7	699,16	23	739,18	39	712,30	55	693,47
8	728,59	24	732,61	40	689,45	56	725,35
9	673,36	25	762,92	41	737,22	57	727,80
10	715,64	26	707,79	42	708,87	58	746,44
11	692,59	27	694,74	43	675,81	59	690,82
12	687,98	28	713,19	44	703,48	60	708,18
13	753,11	29	737,61	45	711,72	61	723,68
14	728,59	30	713,29	46	718,39	62	698,57
15	679,93	31	754,59	47	710,44	63	726,43
16	707,40	32	709,85	48	701,22	64	729,96

Т а б л и ц а 2. **Обработка результатов испытания образцов**

Показатель	Без углеткани	С углетканью
1	2	3
<i>Входные данные</i>		
Количество опытов, шт.	64	64
Уровень значимости	0,05	0,05
<i>Выходные данные</i>		
Минимальное значение фактора	676,11	671,2
Максимальное значение фактора	830,32	777,25
Размах вариации	154,21	106,05
Центральный момент первого порядка	0	0
Центральный момент второго порядка	1111,4	598,1
Центральный момент третьего порядка	6633,8	3814,2
Центральный момент четвертого порядка	3729254	953334
Мода	752,5	707,8
Медиана	742,2	712,1
Асимметрия выборки	0,179	0,261
Эксцесс выборки	0,019	-0,335
Выборочное среднее значение фактора (\bar{P})	751,17	717,85
Среднее линейное отклонение фактора	25,88	20,00
Среднее квадратическое отклонение (σ)	33,34	24,46
Стандартное отклонение фактора	33,60	24,65
Средняя квадратическая ошибка фактора	4,200	3,081
Ошибка, %, от среднего значения фактора	0,559	0,429
Эмпирическая дисперсия выборки	1129,0	607,6
Вариации отклонения от среднего значения	670,0	399,8
Риск отклонения от среднего значения (r)	25,88	20,00
Коэффициент вариации	4,438	3,407
Нормальное распределение		
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,051	0,044
Табличное значение критерия Пирсона	9,423	9,423
Критерий согласия Колмогорова – Смирнова	0,29	0,531
Критические значения критерия согласия Колмогорова – Смирнова	1,36	1,36
Количество диапазонов, шт.	7	7
Количество связей, шт.	3	3
Количество степеней свободы, шт.	4	4
<i>Равномерное распределение</i>		
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,377	0,237
Табличное значение критерия Пирсона	9,423	9,423
Критерий согласия Колмогорова – Смирнова	1,286	1,286

Окончание табл. 2

1	2	3
Критические значения критерия согласия Колмогорова – Смирнова	1,36	1,36
Количество диапазонов, шт.	7	7
Количество связей, шт.	3	3
Количество степеней свободы, шт.	4	4
Начало интервала a	676,11	671,2
Конец интервала b	830,3	777,3
Плотность c	0,0065	0,0094
<i>Распределение Вейбулла</i>		
Вычисленное значение критерия Пирсона	0,278	0,613
Табличное значение критерия Пирсона	9,423	9,423
Критерий согласия Колмогорова – Смирнова	0,41	0,836
Критические значения критерия согласия Колмогорова – Смирнова	1,36	1,36
Количество диапазонов, шт.	7	7
Количество связей, шт.	3	3
Количество степеней свободы, шт.	4	4
Параметр a	575,3	597,3
Параметр b	188,0	128,9

Для определения прочности образцов с заданной вероятностью следует в нормативных документах приводить среднюю величину и среднее квадратическое отклонение прочности. Тогда прочность образцов с минимальным риском можно будет найти по формуле [9]

$$P = \bar{P} - r, \quad (1)$$

где r – риск прочности; \bar{P} – средняя прочность образца.

Риск прочности вычисляется по формуле

$$r = \sqrt{V}, \quad (2)$$

где V – вариация отклонения от среднего значения прочности образца.

Таблица 3. Результаты испытания образцов

Показатель	Без углеткани	С углетканью
Средняя прочность образца (\bar{P}), кПа	751,17	717,85
Среднее квадратическое отклонение (σ), кПа	33,34	24,46
Риск отклонения от среднего значения (r), кПа	25,88	20,00
Прочность образца с минимальным риском	725,29	697,85
Гарантированная прочность образца	651,15	644,47

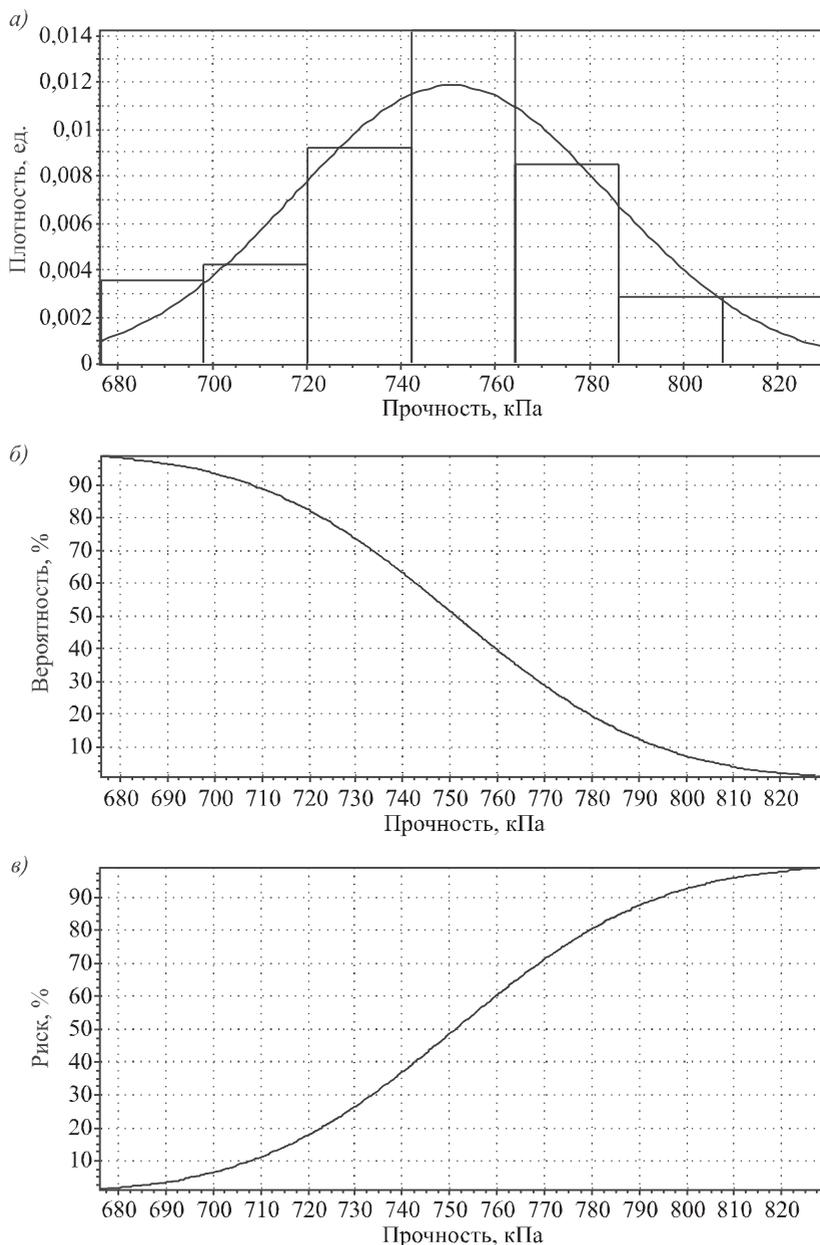


Рис. 3. Плотность распределения вероятностей (а), вероятность разрыва образцов (б) и риск разрыва (в) для образцов без углеткани

Вариация отклонения от среднего значения продолжительности выполнения процессов определяется по формуле

$$V = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} \sum_{j=1}^{j=n} V_{ij}^{\Pi}}{n^2}, \quad (3)$$

где V_{ij}^{Π} – ковариация продолжительности выполнения процессов при использовании i -го и j -го испытания.

Ковариация прочности образцов при использовании i -го и j -го испытания устанавливается по формуле

$$V_{ij} = (P_i - \bar{P})(P_j - \bar{P}). \tag{4}$$

Гарантированная прочность образцов с вероятностью 95 % определяется по формуле

$$P_{95} = \bar{P} - 3\sigma. \tag{5}$$

По формулам (1)–(5) и с помощью табл. 2 вычисляем результаты испытаний образцов и сводим их в табл. 3. На рис. 3 показаны результаты испытания образцов без углеткани, а на рис. 4 – с углетканью.

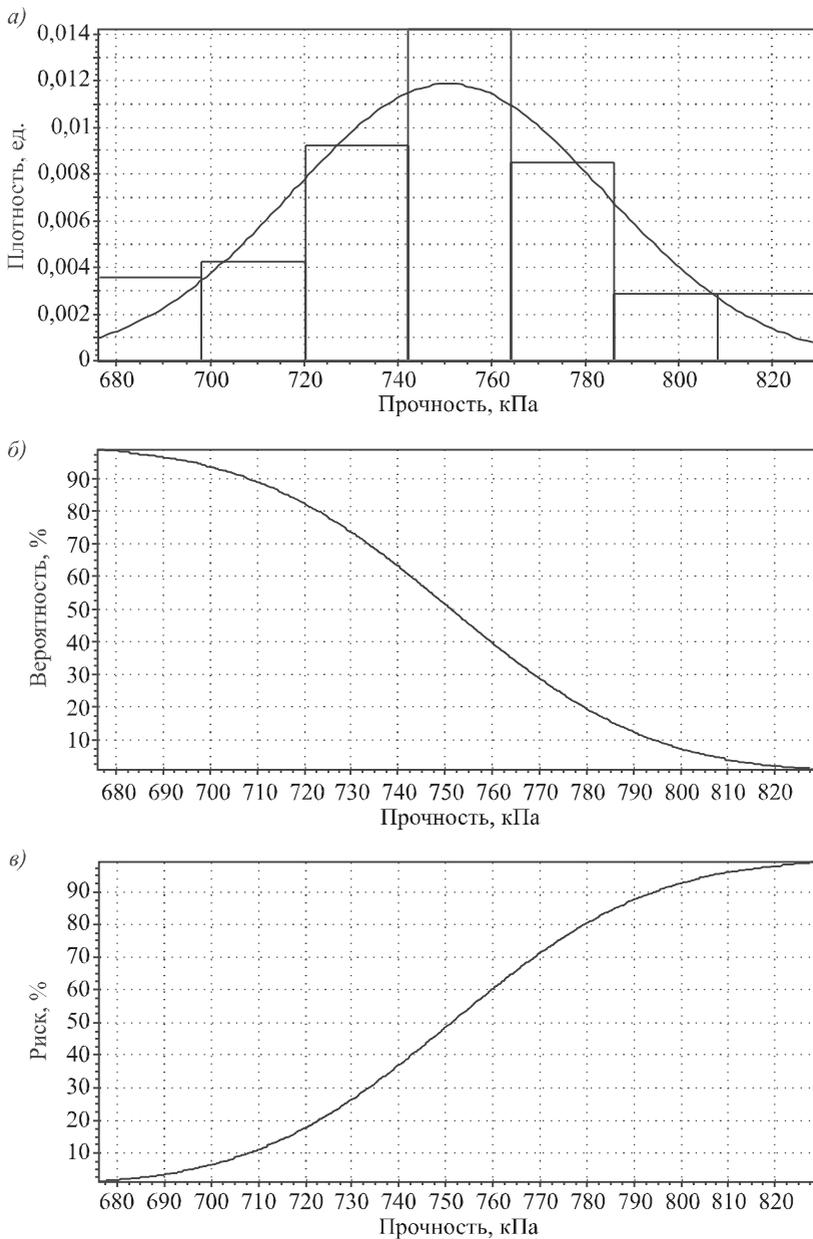


Рис. 4. Плотность распределения вероятностей (а), вероятность разрыва образцов (б) и риск разрыва (в) для образцов с углетканью

Выводы. 1. Выборки испытаний подчиняются закону нормального распределения, так как для них табличные значения критерия Пирсона больше расчетных (см. табл. 2).

2. Согласно характеру разрушения образцов с углетканью, можно сделать вывод, поскольку разлом произошел по бетону, а не по углеткани, адгезия сцепления бетона и углеткани соответствует прочности бетона на растяжение, что доказывает возможность применения углеткани в качестве армирующего компонента бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шевченко В.И. Исследование технологических факторов при нагреве и охлаждении жаростойкого бетона: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 1968. 21 с.
2. Тарасова А.П. Жаростойкие вяжущие на жидком стекле и бетоны на их основе. М.: Стройиздат, 1982. 133 с.
3. Жданова Н.П., Тарасова А.П. Жаростойкий фибробетон // Жаростойкие и обычные бетоны при действии повышенных и высоких температур: сб. тр. / под ред. В.В. Жукова. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988. С. 13–17.
4. Жуков В.В., Шустова Е.Н., Григорян Г.А., Шевченко В.И. Влияние фибрового армирования и температуры нагрева на вязкость разрушения сталефибробетона // Жаростойкие и обычные бетоны при действии повышенных и высоких температур: сб. тр. / под ред. В.В. Жукова. М.: НИИЖБ Госстроя СССР, 1988. С. 4–13.
5. Соловьева Т.А., Акчурин Т.К., Пушкарская О.Ю. Анализ роли армирующих отходов углеволокна в формировании структуры цементно-волокнистой композиции // Вестн. Волгоград. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2014. № 37. С. 93–100.
6. Кузнецов С.М., Кузнецова К.С. Обработка результатов натурных испытаний при техническом и тарифном нормировании // Экономика жел. дороги. 2010. № 7. С. 88–99.
7. Кузнецов С.М. Повышение эффективности применения машин и механизмов в строительстве: моногр. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. 203 с.
8. Кузнецов С.М. Теория и практика формирования комплектов и систем машин в строительстве: моногр. М.; Берлин: Директ-Медиа, 2015. 271 с.
9. Кузнецов С.М., Кузнецова К.С., Сироткин Н.А. Автоматизация формирования портфеля ценных бумаг // Экономика жел. дороги. 2006. № 9. С. 73–77.

Молодин Владимир Викторович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: molodin@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кузнецов Сергей Михайлович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ksm56@yandex.ru
Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Большаков Дмитрий Владимирович, асп.; E-mail: tsp@sibstrin.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 04.07.16

Molodin Vladimir Viktorovich, DSc, Professor; E-mail: molodin@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kuznetsov Sergey Mikhaylovich, DSc, Professor; E-mail: ksm56@yandex.ru
Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Bol'shakov Dmitriy Vladimirovich, Post-graduate Student; E-mail: tsp@sibstrin.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

MEASUREMENT OF THE STRENGTH AND ADHESIVE PROPERTIES OF HEAT-RESISTANT CONCRETE WITH CARBON FABRIC

The purpose of the work – the creation of lining technology, which provides a simple and dezhnoe-efficient and economical production of thermal protection. Effect is reached due to improvement of monolithic concrete lining of particulate carbon fiber reinforcement grids and lamellae. Perform tests to measure the strength of the axial tensile heat-resistant concrete and concrete with the inclusion of carbon fabric. Test sample results are subject to a normal distribution. Adhesion quantity commensurate with the tensile strength of the concrete, which proves the possibility of using a carbon fabric as a reinforcement in the concrete component.

Key words: adhesion, heat-resistant concrete, carbon cloth, clutch, carbon.

REFERENCES

1. Shevchenko V.I. Issledovanie tekhnologicheskikh faktorov pri nagreve i okhlazhdenii zharostoykogo betona: avtoref. dis. ... kand. techn. nauk [The study of technological factors during heating and cooling of heat-resistant concrete: abstract of the thesis of Candidate of Technical Sciences]. Moscow, 1968. 21 p. (in Russian)
2. Tarasova A.P. Zharostoykie vyazhushchie na zhidkom stekle i betony na ikh osnove [Heat-resistant binding on liquid glass and concrete on their basis]. Moscow, Stroyizdat, 1982. 133 p. (in Russian)
3. Zhdanova N.P., Tarasova A.P. Zharostoykiy fibrobeton [Heat-resistant fibrous concrete]. Zharostoykie i obychnye betony pri deystvii povyshennykh i vysokikh temperatur: sb. tr. [Heat-resistant and conventional concrete under the action of elevated and high temperature: proceedings]. Moscow, 1988. Pp. 13–17. (in Russian)
4. Zhukov V.V., Shustova E.N., Grigoryan G.A., Shevchenko V.I. Vliyaniye fibrovogo armirovaniya i temperatury nagreva na vyazkost' razrusheniya stale-fibrobetona [Influence of fiber reinforcement and the heating temperature in the fracture toughness of fiber-reinforced concrete]. Zharostoykie i obychnye betony pri deystvii povyshennykh i vysokikh temperatur: sb. tr. [Heat-resistant and conventional concrete under the action of elevated and high temperature: proceedings]. Moscow, 1988. Pp. 4–13. (in Russian)
5. Solov'eva T.A., Akchurin T.K., Pushkarskaya O.Yu. Analiz roli armiruyushchikh otkhodov uglevolokna v formirovanii struktury tsementno-voлокнистой kompozitsii [Analysis of the role of the reinforcing carbon fiber waste in forming the structure of the cement-fiber composition]. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. 2014. No. 37. Pp. 93–100 (in Russian)
6. Kuznetsov S.M., Kuznetsova K.S. Obrabotka rezul'tatov naturnykh ispytaniy pri tekhnicheskoy i tarifnom normirovanii [Processing of field test results with the technical and tariff rationing]. Jekonomika zheleznoy dorogi [Economy of Railway Transport]. 2010. No. 7. Pp. 88–99. (in Russian)
7. Kuznetsov S.M. Povysheniye jeffektivnosti primeneniya mashin i mekhanizmov v stroitel'stve: monografiya [Improving the efficiency of the use of machinery in the construction of: monograph]. Moscow, Berlin, Direkt-Media, 2015. 203 p. (in Russian)

8. Kuznetsov S.M. Teoriya i praktika formirovaniya komplektov i sistem mashin v stroitel'stve: monografiya [The theory and practice of formation of sets and systems of cars in construction: monograph] Moscow; Berlin, Direkt-Media, 2015. 271 p. (in Russian)
 9. Kuznetsov S.M., Kuznetsova K.S., Sirotkin N.A. Avtomatizatsiya formirovaniya portfelya tsennykh bumag [Automatic formation of a portfolio of securities] *Jekonomika zheleznoy dorogi* [Economy of Railway Transport]. 2006. No. 9. Pp. 73–77. (in Russian)
-

УДК 691.31 : 666.964.3

И.В. МАРДИРОСОВА, Н.А. ПРОЦЕНКО, С.А. ЧЕРНОВ

**ДОБАВКИ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ
С ПОНИЖЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ ПРИГОТОВЛЕНИЯ**

Проведен обзор и анализ химических добавок, выполняющих роль поверхностно-активных веществ, применяемых для получения смесей с пониженной температурой приготовления. Представлены результаты экспериментальных исследований влияния добавок на свойства битумов и горячих плотных асфальтобетонных смесей при различных температурах формовки.

Ключевые слова: комплексные добавки, поверхностно-активные вещества, ресурсосбережение, вспенивание битума, адгезия битума, старение вяжущего.

Задача любого строительства и ремонта – обеспечение надежности и качества работ при минимальных затратах. Разработка новых технологий и материалов направлена на возможность использования сравнительно недорогих, но качественных ресурсов. Для экономичного расходования дорожно-строительных материалов и энергетических ресурсов в дорожном строительстве при приготовлении смесей и устройстве дорожных покрытий важно обеспечить не только бесперебойную работу оборудования, но и сократить время приготовления и температуру укладки смеси.

Укладка горячей асфальтобетонной смеси при строительстве дорожного покрытия ведется при температуре не ниже 120 °С¹. Несоблюдение режимов укладки и уплотнения может привести к температурной сегрегации смеси и впоследствии к образованию дефектов. Снизить температуру приготовления и укладки на 30–50 °С без потери качества можно с помощью существующих способов [1]. Одним из них является вспенивание битума водой. Такой прием лежит в основе 60 % всех способов получения смесей с пониженной температурой приготовления и укладки, причем вспенивание производят путем соединения битума как с водой, так и с паром, насыщенным водой, микропористыми сорбентами (цеолитами) и даже холодным влажным песком. Согласно данным фирм-производителей, в этом случае за счет пониженной на 30–35 °С температуры приготовления смеси экономится порядка 30 % топлива [2].

Во второй группе (27 % технологий) для получения смесей с пониженной температурой приготовления и укладки используют химические добавки, включающие в себя поверхностно-активные вещества (ПАВ). Введение химических добавок в битум практически не изменяет процесс приготовления асфальтобетона на асфальтобетонных заводах (АБЗ). Это одна из причин, по которой многие российские дорожные организации приступили к активному внедрению этой группы способов [3].

¹ ГОСТ 12801–98. Материалы на основе органических вяжущих для дорожного и аэродромного строительства. Методы испытаний. Введ. 1999.01.01.

Третья группа способов (13 %) основана на использовании добавок парафиновых восков и жирных кислот. Самым известным брендом является добавка Sasobit – синтетический парафиновый воск, мелкокристаллический алифатический углеводород, получаемый путем газификации угля или природного газа (метана) по технологии синтеза Фишера – Тропша. Добавляется от 1 до 3 % по массе битума, уменьшая его вязкость, что позволяет понизить температуру приготовления смеси на 18–50 °С [4].

Среди химических добавок наиболее известны как за рубежом, так и в России Evotherm J1 (США), Cescabase RT 945 (Франция), Rediset WMX (Швеция) и битумная присадка Адгезол 3-ТД. Остальные добавки не получили широкого распространения, но тем не менее продолжают использоваться в отдельных странах для снижения температуры укладки асфальтобетона: цеолит Aspa-min, WARM MIX L, Азол 1007.

Evotherm J1 представляет собой комплексную добавку, состоящую из специального набора ПАВ. Такой состав снижает поверхностное натяжение в пленках битума, за счет чего улучшается обволакивание щебня вяжущим, облегчается перемешивание на АБЗ, повышается удобоукладываемость смеси. Рекомендованная дозировка Evotherm J1 для асфальтобетонной смеси с пониженной температурой приготовления и укладки на обычном битуме составляет 0,4 % от массы вяжущего [5].

Cescabase RT 945 – это органическая добавка, снижающая температуру приготовления и укладки смеси на 30–50 °С, что позволяет уменьшить расходы на энергию. Cescabase RT 945, так же как и Evotherm J1, представляет собой жидкость и может вводиться в рабочую емкость горячего битума. Введение добавки Cescabase RT 945 в асфальтобетонную смесь позволяет снизить температуру ее уплотнения до 80–100 °С. Рекомендованная дозировка для смеси с пониженной температурой приготовления на обычном битуме составляет 0,3–0,5 % от массы вяжущего.

Rediset WMX – это твердая добавка, которая поставляется в виде сыпучего гранулированного материала. Она может быть предварительно смешана с битумным вяжущим или дозирована непосредственно в смеситель установки для приготовления асфальтобетонных смесей. Рекомендованная дозировка для асфальтобетонной смеси на обычном битуме составляет 1 %, а при укладке вручную – 2–3 % от массы вяжущего.

Битумная присадка Адгезол 3-ТД – адгезионная добавка для снижения температуры укладки асфальтобетона. Ее использование позволяет уменьшить температуру уплотнения смеси на 30–40 °С. Процесс ввода добавки прост и аналогичен процессу введения жидкой адгезионной добавки. 1–1,5 % Адгезол 3-ТД от массы битума может вводиться в линию АБЗ или в рабочую емкость горячего битума (СТО 99907291-008–2015. Применение битумной присадки «Адгезол 3-ТД» при устройстве асфальтобетонных слоев конструкций дорожных одежд).

WARM MIX L – жидкая, основанная на амидах, добавка для битума, созданная с целью существенно сократить энергетические затраты при производстве асфальтобетона, уменьшить испарения от горячих асфальтобетонных смесей во время смешивания и укладки, а также позволить раньше открывать рабочие объекты для движения даже в холодных климатических условиях.

Добавка Азол 1007 российского производства (СТО 00205423-025–2014. Добавка для приготовления теплых асфальтобетонных смесей Азол 1007) применяется для улучшения адгезии битумных и полимерно-битумных вяжущих к минеральной части и снижения температуры приготовления и укладки асфальтобетонных смесей в дорожном строительстве. Она повышает водостойкость асфальтобетона, замедляет старение вяжущего и снижает температуру приготовления и укладки смесей на 20–30 °С. Азол 1007 представляет собой ПАВ амфолитного типа и комплекс специальных пластифицирующих добавок, улучшает адгезию вяжущего как к кислым, так и основным материалам в составе асфальтобетонной смеси.

Все перечисленные поверхностно-активные добавки, выполняя свою основную функцию, по-разному влияют на физико-химические свойства битумов, а следовательно, и на асфальтобетонную смесь в целом. Изменение отдельных показателей вяжущего напрямую зависит от состава, структуры и свойств самой добавки. Подробно о влиянии химического состава добавок ПАВ на изменение свойств вязких дорожных битумов рассмотрено в статьях [6, 7]. Введение добавок приводит к увеличению показателей пенетрации, что в свою очередь ухудшает прочностные свойства асфальтобетонов при высоких температурах, но положительно влияет на свойства при отрицательных температурах [7].

Для определения влияния добавок на свойства битумов² были выполнены экспериментальные исследования, результаты которых представлены в табл. 1.

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что добавки Evotherm J1, Сесабаз RT 945 и Адгезол 3-ТД [6] увеличивают глубину проникания иглы, делая битум менее вязким, что облегчает процесс его перемешивания с минеральным материалом при приготовлении асфальтобетонной смеси. Наряду с увеличением пенетрации наблюдается повышение температуры размягчения вяжущего на 1–2 °С (битум с Сесабаз RT 945, Rediset WMX и Адгезол 3-ТД). Все добавки, кроме Адгезол 3-ТД, понижают температуру хрупкости, делая битум более стойким к воздействию низких отрицательных температур. В результате применения химических добавок увеличивается интервал пластичности битума, определяемый как интервал между температурой размягчения и температурой хрупкости. При введении в асфальтобетонную смесь химических добавок размягчается внешняя оболочка битумной пленки на минеральных зернах, снижается вязкость свободного битума, уменьшается вероятность самослипания покрытых вяжущим зерен при снижении температуры смеси.

Для исследования влияния химических добавок на физико-механические показатели асфальтобетонных смесей были сформованы при различных температурах и затем испытаны составы мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа А, марки I с добавками Evotherm J1, Сесабаз RT 945, Rediset WMX и Адгезол 3-ТД. Подобранный состав асфальтобетонной смеси типа А соответствует требованиям ГОСТ 9128–2009. Асфальтобетонные смеси были приготовлены при температурах 150, 120 и 80–100 °С.

² ГОСТ 22245–90. Битумы нефтяные дорожные. Технические условия. Введ. 1991.01.01.

Таблица 1. Физико-химические показатели вязкого дорожного битума марки БНД 60/90 с различными добавками

Показатель	Исходный битум марки БНД 60/90	Битум БНД 60/90+0,4 % Evotherm J1	Битум БНД 60/90+0,4 % Cецabase RT 945	Битум БНД 60/90+1 % Rediset WMX	Битум БНД 60/90+1 % Адгезол 3-ТД
Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С при 0 °С	71 25	79 28	75 26	67 26	79 23
Температура размягчения битума по кольцу и шару, °С	49	48	49	50	49
Растяжимость битума при 25 °С, см	>100	>100	>100	>100	61
Изменение температуры размягчения после прогрева, °С	4	4	4	5	4
Температура хрупкости, °С	-21	-25	-26	-23	-20
Индекс пенетрации	-0,56	-0,54	-0,4	-0,52	-0,34
Температура вспышки, °С, не ниже	260	250	238	255	245
Сцепление вяжущего с минеральными материалами кислых пород выдерживает по контрольному образцу номер	2	2	3	2	2

Влияние исследуемых добавок проверялось на горячей мелкозернистой плотной асфальтобетонной смеси типа А, марки I. В качестве исходных минеральных материалов использовался гранитный щебень фр. 5–15 мм – 43 %; щебеночно-песчаная смесь фр. 0–20 мм – 44 %, природный песок – 10 % и минеральный порошок – 3 %. В качестве вяжущего применялся битум БНД 60/90 в количестве 5,4 %, взятый сверх 100 % минеральной части. Добавки вводились в разном количестве в связи с оптимальностью их использования согласно рекомендациям (0,4 и 1 % сверх 100 % массы битума). Результаты испытаний асфальтобетонов, содержащих в своем составе исследуемые добавки, представлены в табл. 2.

По результатам анализа показателей физико-механических свойств асфальтобетонов, содержащих в своем составе различные по характеристикам добавки, выявлено, что с уменьшением температуры приготовления наблюдается снижение (до 10 %) прочностных показателей и ухудшение водостойкости. Однако следует отметить, что асфальтобетоны, сформованные при температуре 80–100 °С, продолжают соответствовать требованиям нормативно-технической документации, несмотря на изменение отдельных показателей физико-механических свойств.

Таким образом, обзор химических добавок зарубежного и отечественного производства показал, что все они способствуют экономии топлива и сокращению финансовых затрат за счет снижения температуры приготовления и укладки асфальтобетонной смеси. Согласно исследованиям [2], снижение температуры выпускаемой смеси на 30–40 °С способствует уменьшению расхода газа на 4–5 м³, что приводит к уменьшению себестоимости производства на 120–150 руб. за 1 т смеси. Пропорционально снижению потребления топлива уменьшается и уровень эмиссий углекислого газа, который вырабатывается вследствие сжигания углеводородного топлива. Низкий температурный

Таблица 2. Показатели физико-механических свойств мелкозернистых плотных асфальтобетонов типа А, содержащих исследуемые добавки, при различных температурах приготовления и уплотнения

Показатель	Требования ГОСТ 9128-2009 к горячему плотному асфальтобетону типа А, марки I для дорожно-клима- тических зон		Без добавки при 150 °С		С добавкой при температуре, °С														
	II, III	IV, V			Evotherm J1			Cesabase RT 945			Rediset WMX			Адгезол 3-ГД					
	Не норм.	1,10	2,389	1,27	150	120	80-100	150	120	80-100	150	120	80-100	150	120	80-100	150	120	80-100
Средняя плотность образца асфальтобетона, г/см ³	Не норм.	Не норм.	2,389	2,389	2,392	2,386	2,382	2,40	2,395	2,385	2,390	2,370	2,365	2,401	2,393	2,386			
Предел прочности при сжатии при температуре 50 °С, МПа, не менее	1,00	1,10	1,27	1,27	1,22	1,13	1,09	1,3	1,2	1,15	1,26	1,03	1,01	1,40	1,31	1,19			
Предел прочности при сжатии при температуре 20 °С, МПа, не менее	2,5	2,5	3,62	3,62	3,89	3,75	3,66	3,6	3,21	2,94	3,50	3,45	3,19	3,91	3,64	3,52			
Водостойкость, не менее	0,90	0,85	0,96	0,96	0,94	0,93	0,92	0,97	0,95	0,92	0,93	0,92	0,91	0,95	0,94	0,90			
Сдвигоустойчивость по коэффициенту внутреннего трения, не менее	0,87	0,89	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,99	0,96	0,94			
Сдвигоустойчивость по сцеплению при сдвиге при температуре 50 °С, МПа, не менее	0,25	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,26	0,25	0,25	0,41	0,39	0,36			
Трещиностойкость – предел прочности на растяжение при расколе при 0 °С	3,5-6,0	4,0-6,5	4,72	4,72	4,17	3,95	3,87	3,9	3,7	3,6	4,12	3,91	3,85	4,58	4,31	3,98			
Водонасыщение, % по объему	2,0-5,0	2,0-5,0	2,78	2,78	2,81	3,20	3,39	2,6	3,1	3,5	2,90	3,32	3,69	3,45	3,58	3,69			
Пористость минеральной части, % по объему	15-19	14-19	15,8	15,8	15,8	15,5	16,0	16,6	17,0	17,4	15,9	15,7	16,4	15,8	15,9	16,3			
Остаточная пористость, %	2,5-5,0	2,5-5,0	4,5	4,5	4,5	4,2	4,6	4,8	4,9	5,0	4,7	4,5	4,9	3,8	4,1	4,25			

режим производства смеси также предотвращает испарение легких фракций нефти и загрязнение воздуха. За счет сохранения легких фракций в битуме уменьшается его старение.

Помимо энергосбережения и уменьшения загрязнения окружающей среды к преимуществам анализируемых добавок в составе асфальтобетонных смесей относятся:

- возможность продления строительного сезона;
- увеличение дальности перевозки смеси;
- увеличение времени на уплотнение асфальтобетона почти в полтора раза;
- улучшение условий труда дорожных рабочих.

В то же время следует обратить внимание на то, что в РФ достаточно много отечественных добавок, позволяющих понизить температуру приготовления и укладки, обладающих всеми требуемыми показателями качества и не уступающих зарубежным аналогам. Однако применение асфальтобетонов с пониженной температурой приготовления и укладки при устройстве автомобильных дорог ограничено отсутствием широкой практики его использования в климатических условиях РФ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Третьяков Р.С. Теплый асфальтобетон в дорожном строительстве // Основные средства. 2014. Вып. 10. С. 130–133.
2. Лупанов А.П., Гладышев Н.В. Энергозатраты при производстве асфальтобетонных смесей // Наука и техника в дорожной отрасли. 2013. Вып. 2. С. 37–39.
3. Чернов С.А., Каклюгин А.В., Максименко М.В. Вопросы энергосбережения при использовании щебеночно-мастичной асфальтобетонной смеси повышенной долговечности // Дороги и мосты. 2013. Вып. 29/1. С. 268–276.
4. Суворов П.В., Проваторова Г.В. Инновационные добавки в дорожные битумы // Научно-практическая конференция студентов и аспирантов Владимирского государственного университета имени А.Г. и Н.Г. Столетовых. Владимир, 2011. С. 7–10.
5. Ширяев Н.И., Дармодехин П.О. «Теплые смеси» с поверхностно-активной добавкой «Evotherm J1» // Изв. Ростов. гос. строит. ун-та. 2013. С. 154.
6. Ядыкина В.В., Траутвайн А.И. и др. Влияние добавок EVOTHERM, Азол 1007 и Адгезол 3-ТД на свойства битума // Дороги и мосты. 2015. Вып. 33/1. С. 320–332.
7. Ядыкина В.В., Траутвайн А.И. и др. Выбор адгезионных добавок для повышения термостабильности битума // Дороги и мосты. 2014. Вып. 31/1. С. 225–240.

Мардиросова Изабелла Варгановна, канд. хим. наук, доц.;

E-mail: isabellavm@rambler.ru

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону

Проценко Надежда Алексеевна, магистр; E-mail: procik1996@yandex.ru

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону

Чернов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доц.;

E-mail: sergey_a_chernov@mail.ru

Академия строительства и архитектуры Донского государственного технического университета, г. Ростов-на-Дону

Получено после доработки 07.07.16

Mardirosova Izabella Vartanovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: isbellavm@rambler.ru
Architectural and Construction Academy of the Don State Technical University,
Rostov-na-Donu, Russia

Protsenko Nadezhda Alekseevna, MSc; E-mail: procik1996@yandex.ru
Architectural and Construction Academy of the Don State Technical University,
Rostov-na-Donu, Russia

Chernov Sergey Anatol'evich, PhD, Ass. Professor; E-mail: sergey_a_chernov@mail.ru
Architectural and Construction Academy of the Don State Technical University,
Rostov-na-Donu, Russia

ADDITIVES FOR ASPHALT CONCRETE MIXES WITH THE LOWERED PREPARATION TEMPERATURE

Conducted the review and the analysis of the chemical additives which are carrying out a role of the surface-active substances applied to receiving mixes with a smaller temperature of preparation. The results of experimental studies of the effect of additives on the properties of hot dense bitumen and asphalt mixtures at different temperatures forming.

Key words: complex additives, surfactants, resource, foamed bitumen, the adhesion of the bitumen, binder aging.

REFERENCES

1. Tret'yakov R.S. Teplyy asfal'tobeton v dorozhnom stroitel'stve [Warm asphalt concrete in a road building]. Osnovnye sredstva [Property, plant and equipment]. 2014. No. 10. Pp.130–133. (in Russian)
2. Lupanov A.P., Gladyshev N.V. Energozatraty pri proizvodstve asfal'tobetonnykh smesey [Energy costs in case of production of asphalt concrete mixes]. Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli [Science and equipment in a road industry]. 2013. No. 2. Pp. 33–39. (in Russian)
3. Chernov S.A., Kaklyugin A.V., Maksimenko M.V. Voprosy energo-sberezheniya pri ispol'zovanii shchebenochno-mastichnoy asfal'tobetonnoy smesi povyshennoy dolgovechnosti [Questions of energy saving when using the crushed-stone and mastic asphalt concrete mix raised long service life]. Dorogi i mosty [Roads and bridges]. 2013. No. 29/1. Pp. 268–276. (in Russian)
4. Suvorov P.V., Provatorova G.V. Innovatsionnye dobavki v dorozhnye bitумы [Innovative additives in road bitumens]. Nauchno-prakticheskaya konferentsiya studentov i aspirantov Vladimirskego gosudarstvennogo universiteta imeni A.G. i N.G. Stoletovykh [Scientific-practical conference of the Vladimir State University names of A.G. and N.G. Stoletovykh]. Vladimir, 2011. Pp. 7–10. (in Russian)
5. Shiryayev N.I., Darmodekhin P.O. «Teplye smesi» s poverkhnostno-aktivnoy dobavkoy «Evotherm J1» [Warm mixes with use of an additive of Evotherm J1]. Izvestiya Rostovskogo gosudarstvennogo stroitel'nogo universiteta [Scientific – technical «news» of Rostov State University of Civil Engineering]. 2013. Pp. 154. (in Russian)

6. Yadykina V.V., Trautvain A.I. etc. Vliyanie dobavok EVOTHERM, Azol 1007 i Adgezol 3-TD na svoystva bituma [Influence of additives of EVOTHERM, Azol 1007 and Adgezol 3-TD on properties of bitumen]. Dorogi i mosty [Roads and bridges]. 2015. No. 33/1. Pp. 320–332. (in Russian)
 7. Yadykina V.V., Trautvain A.I. etc. Vybor adgezionnykh dobavok dlya povysheniya termostabil'nosti bituma [The choice adhesive additives for increase heat stability of bitumen]. Dorogi i mosty [Roads and bridges]. 2014. No. 31/1. Pp. 225–240. (in Russian)
-

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА



УДК 69.022.326

В.В. БУЗЫРЕВ, С.А. ВЛАДИМИРОВ

УСКОРЕНИЕ РЕШЕНИЯ ЖИЛИЩНОЙ ПРОБЛЕМЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОМ И УРАЛЬСКОМ РЕГИОНАХ ПУТЕМ СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРОВ ИНДУСТРИАЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ НА ИННОВАЦИОННОЙ ОСНОВЕ

В статье рассматриваются основные проблемы ускорения пространственного развития и решения жилищной проблемы в крупных северных промышленных регионах европейской части России (Санкт-Петербурга и Ленинградской области, Екатеринбурга и Свердловской области) и обоснование соответствующей роли кластеров индустриального домостроения на инновационной основе. Приведены данные об объеме жилищного строительства в г. Екатеринбурге и Санкт-Петербурге по сравнению с другими городами Российской Федерации, а также основные принципы кластерной политики при решении жилищных проблем. Показано, что успешное развитие таких кластеров неразрывно связано с развитием инфраструктуры, способствующей укреплению согласованности как на внутренних, так и межрыночных пространствах. На примере положительного опыта сборного панельного домостроения в Западной Европе, Китае, СССР раскрыты основные принципы кластерной политики в жилищном строительстве регионов. Показано, что успешное развитие таких кластеров неразрывно связано с развитием инфраструктуры, способствующей усилению связности как внутреннего, так и межрегионального рыночного пространства. Обоснована заведомая отсталость существующего технологического уровня от развитых стран более половины отечественных действующих домостроительных комбинатов, загруженных менее половины своих производственных мощностей. Выявлены отличительные параметры формирования и реализации региональной кластерной строительной политики, индустриального домостроения на инновационной основе в сравнении с традиционной промышленной и строительной политикой. Дана оценка социально-экономического и инновационно-технологического потенциала крупных северных промышленных регионов европейской части России, обоснованы направления крупномасштабных инновационных изменений в сфере строительства. Доказана необходимость целостного подхода к инновационным решениям в области технологии и организации жилищного строительства с инновационными управленческими решениями. Обоснована целесообразность улучшения пространственной организации строительства путем создания на территории вышеуказанных крупных северных промышленных регионов кластеров индустриального домостроения, что приведет к ускоренному реше-

© Бузырев В.В., Владимир С.А., 2016

нию важнейшей социально-экономической жилищной проблемы, доведению до 2020 г. обеспеченности общей площадью жилья на человека до 28–30 м².

К л ю ч е в ы е с л о в а: градостроительство, пространственная организация, регион, кластерный подход, инновации, пространственная организация строительства, обеспеченность жильем, эффективность, индустриальное панельно-каркасное домостроение, гибкие технологии домостроения.

Градостроительная политика призвана обеспечить устойчивое развитие всех регионов России, оказать существенное влияние на улучшение качества жизни граждан. Приоритетом для руководства страны еще как минимум на 10–15 лет является решение жилищной проблемы, достаточно острой в северных регионах. Эффективное использование территориальных ресурсов позволяет упорядочить систему расселения и планировочную структуру Северо-Западного (СЗФО) и Уральского (УрФО) федеральных округов, в которых проживает более 26 млн чел. В смежных федеральных округах сформирована и совершенствуется благоприятная среда проживания горожан на основе существенного улучшения жилищных условий, принятия рациональных планировочных решений, совершенствования архитектурно-художественного облика. Особо выделяются задачи градостроительного обеспечения развития Санкт-Петербурга и Екатеринбурга как столиц СЗФО и УрФО, устойчивого развития и ускоренного выполнения программ жилищного строительства до 2025 г.

Объемы строительства жилых домов в Российской Федерации из года в год увеличиваются. В 2015 г. объем ввода жилья составил 83,8 млн м² (в том числе в Санкт-Петербурге более 3 млн, Екатеринбурге более 1,5 млн м²). Таким образом, объемы ввода жилья в России, начиная с 2014 г., превысили советские рекордные показатели 1987 г., когда было введено 72,8 млн м² жилой недвижимости. Но разница в темпах возведения жилых домов среди российских регионов очень велика. В 12 субъектах построено чуть больше половины введенной общей площади жилых домов в России, а остальная часть приходится на 73 субъекта, т.е. объемы строительства там, как правило, низкие. Лидер по жилищному строительству – Московская область, в которой возведено почти 8,0 млн м².

Очевидно, что строительство достаточного количества жилья с доведением к 2020 г. объемов его ввода до 100 млн м² возможно лишь на основе реализации крупных инновационных изменений в строительной сфере. К таким изменениям относятся:

- переход к каркасному и монолитному (и сборно-монолитному каркасному) домостроению, использование технологии несъемной опалубки;
- переход от методов возведения домов на стройплощадках к сборно-модульному домостроению;
- внедрение в строительство различных новых материалов типа поризованного кирпича, композитных материалов и пластиков, снижение материалоемкости производства;
- комплексное решение вопросов энергосбережения в жилых зданиях, развитие концепции «пассивного» и «активного» дома;

– появление и реализация идеологий «умного» и «зеленого» дома, а также внедрение эффективных способов утилизации мусора и очистки сточных вод (центрифужные и мембранные технологии) [1].

Однако важнейшую роль в ускорении решения жилищной проблемы все-таки сыграет возрождение индустриального домостроения.

В настоящее время материально-техническая база индустриального домостроения Российской Федерации используется недостаточно и неэффективно. Если ставить задачу обеспечить общей жилой площадью граждан РФ в размере 28–35 м² на человека, необходимо модернизировать оставшуюся базу индустриального домостроения и создать новые предприятия на инновационной основе. По состоянию на 2012 г. из 409 домостроительных комбинатов продолжают действовать около половины, которые в общем производят 10–12 млн м² жилья ежегодно, хотя их производственная мощность составляет 25–35 млн м². При этом из 210 действующих домостроительных комбинатов только 30 представляют собой современные производства. Кстати, инфраструктура переставших существовать домостроительных комбинатов может быть использована или перепрофилирована под продукцию для строительства жилья [2].

Без сборного, панельного домостроения ни одна страна в Европе, а теперь и в Азии, например, Китай, не решает задачу массового жилищного строительства. В Китае действует 9600 заводов сборного железобетона, работающих главным образом на строительство жилья. В 2011 г. в Китае были построены объекты недвижимости общей площадью 1900 млн м², что на 16 % больше, чем в 2010 г. По объемам жилищного строительства Китай вышел на показатель 1 м² жилья на человека [3].

Большинство действующих в России домостроительных предприятий выпускают серии жилых домов, разработанные в 1970–1990-е гг. Качество этих устаревших серий, освоенных 20–30 лет назад, не отвечает современным требованиям не только с позиции потребителя, но и с позиции государства. Современные дома имеют другие технологические характеристики, металлоемкость при их производстве снижается на 25–30 %. Квартиры могут иметь свободную планировку внутренних пространств, что приближает их по качеству к квартирам в монолитно-каркасных зданиях, но при более низкой стоимости 1 м².

Из-за спада производства в 1990–2000-х гг. и отсутствия средств на техническое переоснащение была практически ликвидирована отечественная машиностроительная промышленность, поставляющая оборудование и оснастку для предприятий индустриального домостроения, что задержало своевременную замену устаревшего оборудования. Степень износа основных фондов отрасли составляет 60–80 %. На предприятиях используются энергозатратные технологии, при строительстве жилых домов – устаревшие и неэффективные решения и строительные материалы, что приводит к повышенному потреблению тепла и электроэнергии [4].

Начиная с 2010 г., в Российской Федерации усилилась активность использования в жилищном строительстве сборных железобетонных конструкций. Особенно большой рост выпуска плит, панелей и настилов пере-

крытий и покрытий произошел в 2011 г., однако одновременно сократился выпуск таких конструктивных элементов, как стены и перегородки. Такая тенденция говорит о следующем: система индустриального домостроения должна быть существенно изменена. Крупнопанельное домостроение в чистом виде перестает удовлетворять рынок жилья. По стоимости и срокам возведения жилья крупнопанельному домостроению нет равных технологий. Но потребительские качества панельного жилья не в полной мере удовлетворяют спрос в связи с практической невозможностью изменения расстановки и перегородок, объединения пространств и их трансформации. При этом наличие перекрытий размером на комнату и одного потаенного шва обеспечивает не только хорошую эстетику квартиры, но и делает квартиру дешевле. Однако наибольшая гибкость архитектурно-планировочных решений будет присуща панельной системе с широким шагом поперечных несущих стен. Для этого необходимо применение многопустотных перекрытий с предварительным натяжением арматуры.

Для расширения возможностей панельного домостроения с применением сборного железобетона целесообразно использовать каркасную систему, поскольку она является универсальной системой, получившей большое распространение в строительстве жилых и общественных зданий. Сочетание элементов каркаса с панельными конструкциями позволяет найти новые инновационные решения при строительстве современных жилых домов.

В настоящее время оборудование и технология сборного железобетона настолько универсальны, что дают возможность выпускать изделия не только по открытой системе типизации, но и производить полный ассортимент сборного железобетона для жилых и социальных объектов, в том числе инженерных сооружений [5]. На одном или разных предприятиях по кооперации вместе с панельными конструкциями должны выпускаться многопустотные плиты перекрытий, произведенные на длинномерных стендах, каркасные элементы (колонны, ригели, балки, пилоны) – вся эта продукция органично вписывается в соединении с крупнопанельными внутренними и наружными стенами в новые жилые дома и социальные объекты.

Таким образом, происходит замена крупнопанельного домостроения в чистом виде на панельно-каркасное домостроение (ПКД). ПКД – это новая инновационная идеология индустриального домостроения, новые возможности для архитекторов, конструкторов, инженеров, менеджеров для удовлетворения спроса потребителей на современное комфортное жилье. ПКД снимает все существовавшие ограничения, которые были присущи крупнопанельному домостроению (КПД) [6].

Гибкость архитектурно-планировочных решений заключается в том, что они именно такие, какие нужны для потребителя, причем с возможностью менять планировку внутри габаритов квартиры при изменении состава семьи. Система ПКД позволяет строить здания с возможностями, превышающими монолитное строительство по архитектурно-планировочным решениям. В монолитных зданиях без промежуточных опор и резкого удорожания нельзя перекрыть пролет больше 7,2 м, тогда как в панельно-каркасной системе пролеты в зданиях могут достигать 9, 12 м и более при использовании многопустотных плит перекрытий.

Опыт модернизации домостроительных предприятий в ряде городов Российской Федерации, имеющийся зарубежный опыт позволяют сделать вывод о необходимости тесно увязывать инновационные решения в области технологии и организации производства с инновационными управленческими решениями. К таким решениям можно отнести следующие:

1. В крупнопанельном домостроении распространены две условные технологические системы заводского производства сборных изделий – жесткая (негибкая) и гибкая. По жесткой технологической системе во времена СССР были построены все отечественные заводы КПД. Основное свойство этой технологии – под каждое сборное железобетонное изделие используется своя металлическая форма с жесткой непереналаживаемой схемой бортов и поддонов. Это позволяло заводам КПД выпускать большое количество жилых домов при отсутствии их разнообразия и невозможности беззатратно переходить на новые, более экономичные серии. В этой схеме преобладает компактное кассетное оборудование. По гибкой технологической схеме в современных условиях построены все новые заводы КПД с комплектацией их импортным оборудованием. Это, как правило, конвейерные линии с инвентарными поддонами, оснащенные универсальными бортовыми элементами, проеомобразователями и фиксаторами для установки арматуры и закладных деталей с креплением к поддонам на быстросъемных магнитах [7].

Модернизация предприятий крупнопанельного домостроения, на наш взгляд, должна заключаться в переходе на гибкие технологические схемы с минимизацией затрат за счет опережающего проектирования жилых домов нового типа с последующим подбором технологического оборудования для заводского изготовления элементов для разработанных проектов.

2. В ходе дальнейшей модернизации на инновационной основе необходимо перепрофилировать домостроительные предприятия на панельно-каркасную систему домостроения.

3. В тех регионах Российской Федерации, где индустриальное домостроение полностью отсутствует (восемь республик, округов, областей) или производит незначительные объемы, необходимо создание базы индустриального домостроения по панельно-каркасной технологической схеме.

4. В регионах, где удельный вес индустриального домостроения велик (Центральный и Северо-Западный федеральные округа прежде всего) и существует достаточное количество домостроительных комбинатов и предприятий по производству сборного железобетона, на наш взгляд, необходим для повышения эффективности их функционирования современный кластерный подход.

Мы руководствуемся следующим определением кластера в экономике. Кластер – сконцентрированная на некоторой территории группа взаимосвязанных компаний: поставщиков продукции, комплектующих и специализированных услуг; инфраструктуры; научных организаций и учебных заведений, взаимодополняющих друг друга и усиливающих конкурентные преимущества отдельных компаний и кластера в целом [8]. Кластерная политика рассматривается нами как альтернатива традиционной «отраслевой политике», в рамках которой осуществляется поддержка конкретных предприятий и отраслей.

Основные отличительные параметры формирования и реализации региональной кластерной политики по сравнению с традиционной промышленной и строительной: стратегия развития территории, взаимоотношения власти и бизнеса; производство и технологии; критерии экономической эффективности; рынок труда; институциональная среда; тип доминирующих коммуникаций между предприятиями. Основные отличительные черты кластерного подхода к управлению по сравнению с отраслевым представлены в таблице.

Основные отличительные черты кластерного подхода к управлению по сравнению с отраслевым

Признаки	Кластерный подход	Отраслевой подход
Принципы формирования	Горизонтальная и вертикальная интеграция, оптимизация межотраслевых воздействий	По технологическому признаку
Потенциал экономического роста	Эффекты синергии, обусловленные взаимодействием разнородных элементов. Присутствие «ключевого участника» (крупного предприятия, научного центра)	Интенсификация производства предприятия (отрасли)
Возможность активизации инновационного потенциала	Высокий уровень инновационной активности, достигаемой за счет возможности концентрации ресурсов в отдельных элементах кластера, определяющих его инновационный потенциал	Ограничена в силу инерционности системы внедрения инноваций, проблем коммуникаций
Конкурентоспособность продукции региона	Повышается за счет территориальной концентрации элементов кластера, которая приводит к снижению транспортных и транзакционных издержек	Слабо выражена в силу территориальной рассредоточенности предприятий, реализующих производственные процессы в пределах одной отрасли
Инвестиционная привлекательность	Определяется возможностью комплексного использования инвестиционных ресурсов	Эффект инвестиций определяется возможностями объекта инвестирования
Уровень коммуникаций	Долгосрочные связи между участниками кластера, основанные на взаимовыгодных отношениях	Жесткая иерархическая структура, определяемая технологическими и административно-управленческими связями
Экологичность и энергоэффективность производства	Добровольное применение комплексных энергосберегающих технологий, повышенное внимание к экологичности производства, утилизации, рекультивации для сохранения окружающей среды	Принудительное применение природоохранных и ресурсосберегающих технологий для конкретного предприятия без учета комплексного влияния на окружающую среду

Выводы. Основой реализации кластерной политики является создание условий для осуществления синергического эффекта для компаний, входящих в кластерную сеть, а также выделение и применение факторов, влияющих на повышение конкурентоспособности отдельных элементов и кластера в целом.

Поскольку продукция панельно-каркасной системы домостроения формируется на основе участия большого числа предприятий – от проектных бюро, изготовителей конструктивных элементов (панельных, каркасных) до строительных подразделений по монтажным и отделочным работам, по нашему мнению, было бы целесообразнее сформировать на территории такого региона, как Санкт-Петербург и Ленинградская область, кластер индустриального домостроения, охватывающий все или большинство предприятий этого профиля. Создание такого кластера в индустриальном домостроении сначала в крупных северных промышленных регионах европейской части России Санкт-Петербурге и Ленинградской области, Екатеринбурге и Свердловской области, а затем и в других регионах России ускорит решение жилищной проблемы в стране.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бузырев В.В., Селютина Л.Г. Жилищная проблема и пути ее решения в современных условиях. СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2013. 335 с.
2. Татаркин А.И. Новая индустриализация экономики России: потребность развития и/или вызовы времени ?// Эконом. возрождение России. 2015. № 2 (44). С. 20–31.
3. Магай А.А. Жилищное строительство России на современном этапе // Жилищ. стр-во. 2012. № 4. С. 9–12.
4. Николаев С.В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России // Жилищ. стр-во. 2012. № 4. С. 2–8.
5. Владимиров С.А. Минимальное значение показателя общественной эффективности инвестиционных проектов в открытой экономике // Изв. вузов. Строительство. 2001. № 2–3. С. 68–73.
6. Радионов Д.Г., Афанасов А.Ю., Горовой А.А. Региональная кластерная политика в контексте управления развитием региональной экономики // Мир экономики права. 2014. № 4–5. С. 19–30.
7. Тихомиров Б.И., Коршунов А.Н., Шакиров А.А. Универсальная система крупнопанельного домостроения с многовариантными планировками квартир и их разнообразными сочетаниями в базовой конструкции блок-секции // Жилищ. стр-во. 2012. № 4. С. 13–20.
8. Татаркин А.И., Набережная Е.П. Особенности прогнозирования сравнительных преимуществ экономики Урала // Институты и механизмы инновационного развития в экономике, проектном менеджменте, образовании, юриспруденции, экологии, биологии, политологии, психологии, медицине, философии, филологии, социологии, химии, математике, технике, физике: сб. науч. ст. по итогам междунар. науч.-практ. конф. СПб., 2013. 145 с.

Бузырев Вячеслав Васильевич, д-р экон. наук, проф.
Санкт-Петербургский государственный экономический университет

Владимиров Сергей Арсеньевич, д-р экон. наук, проф.
Северо-Западный институт управления Российской академии народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации, г. Санкт-Петербург

Получено 27.07.16

Buzyrev Vyacheslav Vasil'evich, DSc, Professor
Saint-Petersburg State University of Economics, Russia

Vladimirov Sergey Arsen'evich, DSc, Professor

Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (RANEPA), Saint-Petersburg, Russia

ACCELERATION SOLVING THE HOUSING PROBLEM IN THE NORTH-WESTERN AND URALS REGION THROUGH THE CREATION OF CLUSTERS OF INDUSTRIAL HOUSING ON AN INNOVATIVE BASIS

The paper discusses the main problems of acceleration of spatial development and housing solutions in the major northern industrial regions of the European part of Russia (St. Petersburg and Leningrad region, Yekaterinburg and the Sverdlovsk region) and the appropriate role of clusters of industrial housing on the basis of innovation. The data on the volume of housing construction in Yekaterinburg city and St. Petersburg, as compared to other cities and the Russian Federation, the basic principles of cluster policy in housing areas. It is shown that the successful development of such clusters is inextricably linked with the development of infrastructure conducive to strengthening the coherence of both internal and inter-market space. Results are based on the positive experience of precast panel construction in Western Europe, China and the USSR. Substantiates the deliberate underdevelopment of the existing technological level of developed countries, more than half of domestic deystvuschih house-building factory, loaded less than half of their production capacity. The specificity of assessing the socio-economic and technological innovation and the potential large northern industrial regions of the European part of Russia, the directions of the large-scale innovations in the field of construction. The necessity of a holistic approach to innovative solutions in the field of technology and housing organizations with innovative management solutions. Distinctive settings for creating and implementing a regional cluster building policy, industrial housing on the basis of innovation compared to traditional industrial and building policy. The expediency of improving the spatial organization of the building through the creation of the territory of the above-mentioned large northern industrial regions of clusters of industrial housing construction, which will lead to accelerated solution of the most important socio-economic housing problem, bringing to 2020 the total area of provision of housing per person to 28–30 m².

Key words: urban development, spatial organization, the region, the cluster approach, innovation, spatial organization of construction, housing, efficiency, industrial panel-frame housing, the flexible housing technology.

REFERENCES

1. Buzyrev V.V., Selyutina L.G. Zhilishchnaya problema i puti ee resheniya v sovremennykh usloviyakh [The housing problem and its solutions in modern conditions]. Saint-Petersburg, 2013. 335 p. (in Russian)
2. Tatarkin A.I. Novaya industrializatsiya ekonomiki Rossii: potrebnost' razvitiya i/ili vyzovy vremeni? [The new industrialization of Russia's economy: the need to develop and / or challenges of time?]. *Economicheskoe vozrozhdenie Rossii* [Russian economic revival]. 2015. No. 2 (44). Pp. 20–31. (in Russian)
3. Magay A.A. Zhilishchnoe stroitel'stvo Rossii na sovremennom etape [Housing construction Russia at the present stage]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2012. No. 4. Pp. 9–12. (in Russian)
4. Nikolaev S.V. Vozrozhdenie krupnopanel'nogo domostroeniya v Rossii [The revival of large-panel housing construction in Russia]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2012. No. 4. Pp. 2–8. (in Russian)

5. Vladimirov S.A. Minimal'noe znachenie pokazatelya obshchestvennoy effektivnosti investitsionnykh proektov v otkrytoy ekonomike [The minimum value of the index of social efficiency of investment projects in an open economy]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2001. No. 2–3. Pp. 68–73. (in Russian)
6. Radionov D.G., Afanasyev A.Yu., Gorovoy A.A. Regional'naya klasternaya politika v kontekste upravleniya razvitiem regional'noy ekonomiki [Regional cluster policy in the context of the management of the development of the regional economy]. *Mir ekonomiki prava* [World economy rights]. 2014. No. 4–5. Pp. 19–30. (in Russian)
7. Tikhomirov B.I., Korshunov A.N., Shakirov A.A. Universal'naya sistema krupnopanel'nogo domostroeniya s mnogovariantnymi planirovkami kvartir i ikh raznoobraznymi sochetaniyami v bazovoy konstruktsii blok-sektsii [Universal system with multiple-panel construction layouts and their various combinations in the basic design flow section]. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing construction]. 2012. No. 4. Pp. 13–20. (in Russian)
8. Tatarkin A.I., Naberezhneva E.P. Osobennosti prognozirovaniya sravnitel'nykh preimushchestv ekonomiki Urala [Features predicting the comparative advantages of the economy of the Urals]. *Instituty i mekhanizmy innovatsionnogo razvitiya v ekonomike, proektnom menedzhmente, obrazovanii, yurisprudentsii, ekologii, biologii, politologii, psikhologii, meditsine, filosofii, filologii, sotsiologii, khimii, matematike, tekhnike, fizike: sbornik nauchnykh statey po itogam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [The institutions and mechanisms of innovative development of the economy, project management, education, law, ecology, biology, political science, psychology, medicine, philosophy, philology, sociology, chemistry, mathematics, engineering, physics: collection of scientific articles on the results of the international scientific-practical conference]. Saint-Petersburg, 2013. 145 p. (in Russian)

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



УДК 697.9:621.577

В.М. УЛЯШЕВА, И.Д. КИБОРТ

ОБ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ УДАЛЯЕМОГО ВОЗДУХА НА БАЗЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА

Представлены результаты имитационного моделирования системы утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха на базе воздушного теплового насоса в рамках анализа энергоэффективности. Предложена и рассмотрена величина общего коэффициента преобразования энергии, характеризующая эффективность системы утилизации и позволяющая провести прямое сравнение энергоэффективности системы утилизации на базе воздушного теплового насоса, пластинчатого утилизатора и утилизатора с промежуточным теплоносителем. Приведено математическое описание предложенной величины и порядок ее получения. Представлено сравнение предложенной величины и величины коэффициента преобразования энергии при изменении энтальпий хладагента в узловых точках цикла, а также при изменении температуры наружного воздуха и объемного расхода приточного воздуха.

Ключевые слова: утилизация теплоты удаляемого воздуха, коэффициент преобразования энергии, воздушный тепловой насос, имитационное моделирование, энергоэффективность.

Воздушный тепловой насос (ВТН) является обращенной холодильной машиной, позволяющей производить трансформацию потенциала теплоты, затрачивая при этом электрическую энергию. Особенности функционирования позволили найти применение ВТН в различных типах систем вентиляции и кондиционирования воздуха (СКВ).

В разрезе проблемы энергосбережения в СКВ особое место занимает возможность применения ВТН в качестве системы утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха (СУ). Для ряда условий данный тип утилизатора имеет определенные преимущества по сравнению с классическими, такими как пластинчатый утилизатор (ПУ) или утилизатор с промежуточным теплоносителем (УПТ) [1]. При создании имитационной модели СУ было проведено аналитическое сравнение технико-экономических показателей работы СУ и утилизаторов классической конструкции с помощью величи-

ны отношения затраченной электрической энергии к утилизированной теплоте [1].

Соотношение энергий (СЭ) для ПУ определяется уравнением (1), для УПТ – уравнением (2).

$$СЭ_{ПУ} = \frac{Q}{E_{ac}}, \quad (1)$$

$$СЭ_{УПТ} = \frac{Q}{E_{гс} + E_{ac}}, \quad (2)$$

где Q – утилизируемая теплота, Вт.

$E_{гс}$ – затраченная энергия на преодоление гидравлических сопротивлений, Вт;

E_{ac} – затраченная энергия на преодоление аэродинамических сопротивлений, Вт;

Для ВТН характерна величина коэффициента преобразования энергии, определяемого по соотношению [2]

$$\mu = \frac{q}{AL}, \quad (3)$$

где q – удельная теплопроизводительность, кДж/кг;

AL – работа цикла.

Для перехода от удельной теплопроизводительности к полной выразим величину μ при помощи выражения

$$\mu = \frac{Q}{N'_i + N_{тр}}, \quad (4)$$

Q – полная теплопроизводительность, количество утилизированной энергии, Вт;

N'_i – индикаторная мощность компрессора, Вт;

$N_{тр}$ – мощность трения, Вт.

Сумму N'_i и $N_{тр}$ можно представить как величину затрат энергии на работу цикла ВТН $E_{ц}$. Для оценки влияния дополнительных сопротивлений подставим в знаменатель $E_{г}$, E_a . Таким образом введем понятие общего коэффициента преобразования энергии (КПЭ), учитывающего сопутствующие эксплуатационные затраты на работу СУ и определяемого по соотношению

$$КПЭ_0 = \frac{Q}{E_{ц} + E_{г} + E_a}. \quad (5)$$

Значение $E_{г}$ вычисляется по соотношению (6), полученному путем оптимизации расчетного алгоритма в рамках разработки имитационной модели СУ:

$$E_{г} = \frac{20,482 VF_h v_g^{1,69}}{N_i}, \text{ кВт}, \quad (6)$$

где VF_h – объемный расход хладагента, м³/ч;
 v_g – скорость движения хладагента, м/с.

Численный коэффициент 20,482 – математически полученное соотношение среднего КПД привода компрессора, электродвигателя и коэффициента определения значения гидравлического сопротивления теплообменного аппарата. Значение 20,482 характерно для испарителей, значение 4,168 – для конденсаторов [3].

Значение E_a определяется по соотношению

$$E_a = 0,0017GP, \text{ кВт}, \quad (7)$$

где G – расход воздуха, м³/с;

P – аэродинамическое сопротивление теплообменного аппарата, м/с.

Для сопоставления величин КПЭ и КПЭ₀ рассмотрим соотношение соответствующих функций, характерных для ряда зависимостей от изменения энтальпий в узловых точках цикла:

i_1 – энтальпия хладагента до испарителя, кДж/кг;

i_2 – энтальпия хладагента после испарителя, кДж/кг;

i_3 – энтальпия хладагента до конденсатора, кДж/кг;

i_4 – энтальпия хладагента после конденсатора, кДж/кг.

В таблице приведены условия изменения соотношений (рис. 1).

Условия изменения соотношения

Ситуация	Характеристика параметров				Соответствующий рисунок	Коэффициент детерминации кривых КПЭ и КПЭ ₀
	i_1	i_2	i_3	i_4		
1	Const	Const	Возрастает	Const	1	0,7
2	Const	Убывает	Const	Const	2	0,9
3	Const	Const	Const	Возрастает	3	0,76
4	Const	Const	Возрастает	Возрастает	4	0,83

Разница между соответствующими значениями КПЭ и КПЭ₀ объясняется наличием дополнительного расхода энергии на косвенные сопротивления, не относящиеся к ВТН напрямую. Однако, рассматривая утилизатор как систему, при оценке эффективности необходимо учитывать дополнительные эксплуатационные затраты в противовес утилизированной тепловой энергии.

Рассмотрим изменение соотношения КПЭ и КПЭ₀ в зависимости от изменения температуры наружного воздуха (рис. 2) и расхода воздуха (рис. 3). Рис. 2 характеризует поведение кривых КПЭ и КПЭ₀ при расходах приточного и вытяжного воздуха, равных 5000 м³/ч, и рис. 3 демонстрирует поведение кривых КПЭ и КПЭ₀ системы утилизации в климатических условиях г. Архангельска.

Коэффициент детерминации кривых для рис. 2 составляет 0,74, для рис. 3 – 0,7.

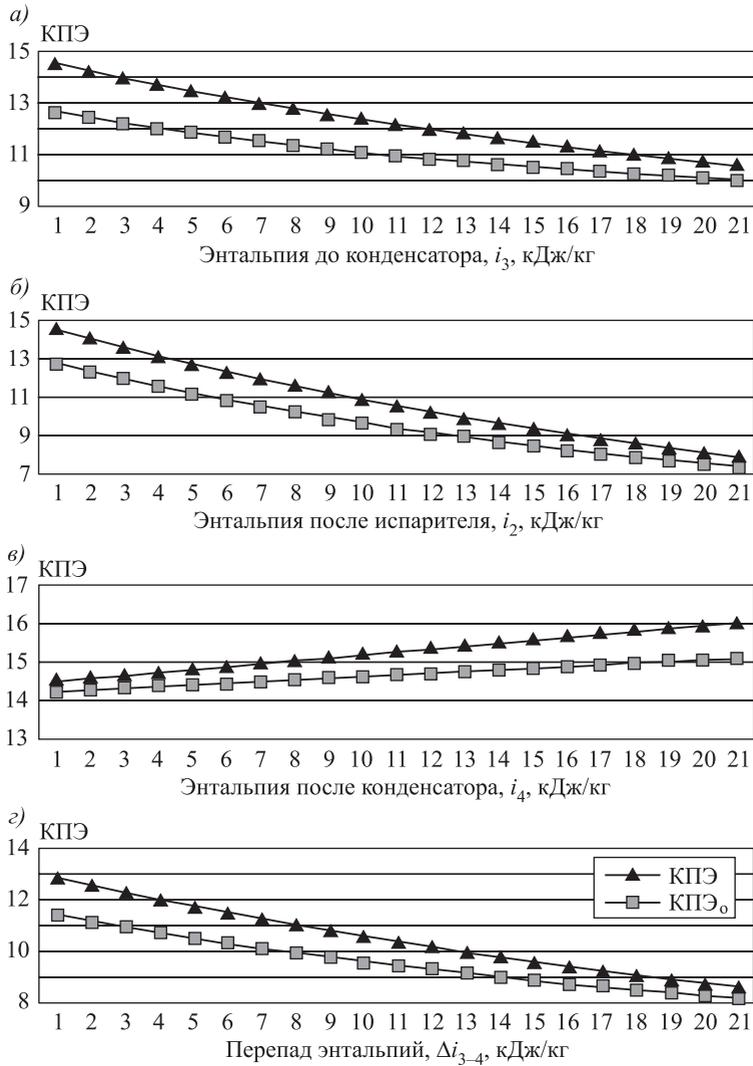


Рис. 1. Соотношение КПЭ и КПЭ₀, характерное для ситуации № 1 (а), № 2 (б), № 3 (в) и № 4 (г)

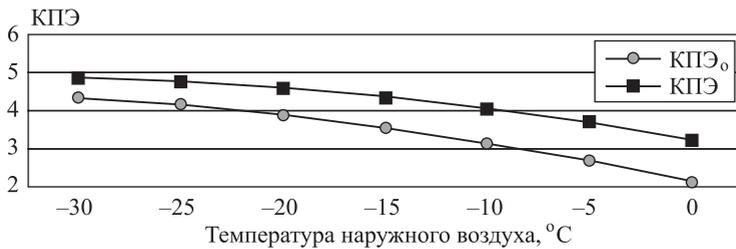


Рис. 2. Соотношение КПЭ и КПЭ₀ при изменении температуры наружного воздуха

В результате было установлено, что оценка энергоэффективности системы утилизации на базе ВТН при помощи величины КПЭ дает неверное представление о реальных экономических показателях утилизатора. В соответствии с рис. 3, согласно характеру кривой КПЭ₀, применение ВТН в ка-

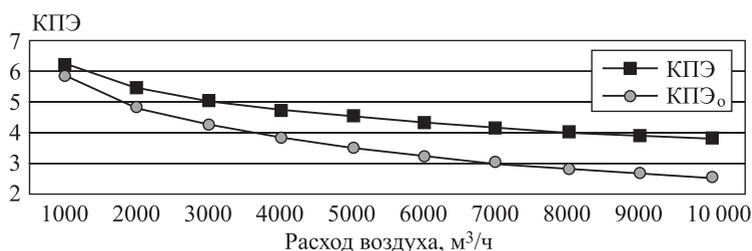


Рис. 3. Соотношение КПЭ и КПЭ₀ при изменении расхода воздуха

честве утилизатора в СКВ с расходом воздуха более 8000 м³/ч сопряжено с большими эксплуатационными затратами на преодоление аэродинамических и гидравлических сопротивлений теплообменных аппаратов СУ, в то время как величина КПЭ находится на экономически привлекательном уровне [4].

Таким образом, величина КПЭ₀ характеризует экономические показатели работы системы утилизации на базе ВТН. Применение данной величины позволяет провести сравнительный анализ энергоэффективности СУ, ПУ и УПТ. Предложенная величина дает возможность оценить энергоэффективность системы в соответствии с условиями реальной эксплуатации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ки б о р т И.Д. Сравнительный анализ результатов моделирования теплоутилизационного теплового насоса и классических утилизаторов тепловой энергии удаляемого воздуха // Вестн. граждан. инж. 2015. № 6. С. 153–162.
2. Р о з е н ф е л ь д Л.М., Т к а ч е в А.Г. Холодильные машины и аппараты. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Госторгиздат, 1960. 656 с.
3. К о м а р о в Е.А., Ш и р я е в а Н.П., С и м о н о в Д.С. Проектирование кондиционирования воздуха. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 44 с.
4. Г е р ш к о в и ч В.Ф. Нужно ли внедрять тепловые насосы в систему теплоснабжения города? // Энергосбережение. 2011. № 6. С. 44–48.

Уляшева Вера Михайловна, д-р техн. наук, доц.;

E-mail: ulyashevavm@mail.ru

Ухтинский государственный технический университет

Киборт Иван Дмитриевич, ассист.; E-mail: idkibort@gmail.com

Ухтинский государственный технический университет

Получено 22.07.16

Ulyasheva Vera Mikhailovna, DSc, Ass. Professor;

E-mail: ulyashevavm@mail.ru

Ukhta State Technical University, Russia

Kibort Ivan Dmitrievich, Assistant; E-mail: idkibort@gmail.com

Ukhta State Technical University, Russia

ABOUT HEAT PUMP BASED AIR-HEAT RECOVERY SYSTEM EFFICIENCY ASSESSMENT

The article provides the results of heat pump based air-heat recover system (HPRS) modelling under the energy efficiency analysis. Proposed and considered the OCOP variable, that contains air and hydro resistance values and allow comparing energy

efficiency of HPRS, plate heat exchanger and heat exchanger with intermediate heat carrier. The article considered mathematical description of the proposed size. Proposed comparison COP and OCOP values with the outside air temperature and air-flow changes conditions.

Key words: heat recycle exhaust air, COP, air heat pumps, modelling, energy efficiency.

REFERENCES

1. Kibort I.D. Sravnitel'nyy analiz rezul'tatov modelirovaniya teplouutilizatsionnogo teplovogo nasosa i klassicheskikh utilizatorov teplovoy energii udalyaemogo vozdukha [The comparative analysis of results of modeling heat recovery heat pump and heat recovery classic heat exhaust air]. Vestnik grazhdanskikh inzhenerov [Bulletin of Civil Engineers]. 2015. No. 6. Pp. 153–162. (in Russian)
2. Rozenfel'd L.M., Tkachev A.G. Kholodil'nye mashiny i apparaty [Refrigerating machines and equipment]. Moscow, Gostorgizdat, 1960. 656 p. (in Russian)
3. Komarov E.A., Shiryayeva N.P., Simonov D.S. Proektirovanie konditsionirovaniya vozdukha [Design of air conditioning]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 44 p. (in Russian)
4. Gershkovich V.F. Nuzhno li vnedryat' teplovye nasosy v sistemu teplosnabzheniya goroda? [Is it necessary to introduce heat pumps in the heating system of the city?]. Energoberezhenie [Energoberezhenie]. 2011. No. 6. Pp. 44–48. (in Russian)

УДК 697. 971

В.П. ШАЦКИЙ, Л.И. ФЕДУЛОВА, И.В. ГРИДНЕВА

К ВОПРОСУ О МОДЕЛИРОВАНИИ ДВУХСТУПЕНЧАТОГО ВОДОИСПАРИТЕЛЬНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Предложена математическая модель тепломассообмена для водоиспарительных охладителей двухступенчатого принципа действия.

К л ю ч е в ы е с л о в а: двухступенчатый водоиспарительный охладитель, тепломассоперенос, косвенное охлаждение, прямое охлаждение.

Вопрос о необходимости достижения технологических норм на производстве, а также допустимых температурно-влажностных параметров микроклимата на рабочем месте по-прежнему актуален. Применение конкретных установок должно быть экономически оправдано и осуществлено при учете строительно-монтажных, эксплуатационных, технологических требований и требований экологической безопасности. Водоиспарительные охладители просты в эксплуатации, экологически чисты и достаточно дешевы, но для разработки наиболее эффективных конструкций охладителей необходимо математическое моделирование протекающих в них процессов тепломассопереноса.

В работах [1, 2] излагаются принципы работы установок прямого и косвенного охлаждения, приводятся вывод соотношения, определяющего энергетический баланс в каналах воздухоохлаждателей, и анализ значений температуры и влажности основного потока воздуха на выходе из косвенного охладительного блока. Анализ показывает, что при невысокой влажности внешнего воздуха имеется резерв по влажности на выходе из косвенной охладительной установки и, следовательно, можно доохладить воздух с помощью блока прямого охлаждения [3–5]. Для разработки наиболее эффективных конструкций охладителей возникает необходимость в математическом моделировании процессов тепломассопереноса, протекающих последовательно в каналах теплообменных насадок косвенного и прямого блоков охлаждения.

Наиболее простые конструкции водоиспарительных кондиционеров базируются на принципе прямого охлаждения. Поток охлаждаемого воздуха направляется в каналы испарительной насадки. Снижение его температуры происходит в результате испарения воды со смоченной поверхности пластин при непосредственном контакте. В случае прямого охлаждения математическая модель тепломассопереноса в водоиспарительном канале сечения $H = 2h$ и длиной L (рис. 1) представляет собой известные дифференциальные уравнения в частных производных параболического типа, описывающие перенос энергии и массы:

$$\rho V(x, y) C \frac{\partial t}{\partial x} = \lambda \frac{\partial^2 t}{\partial y^2},$$

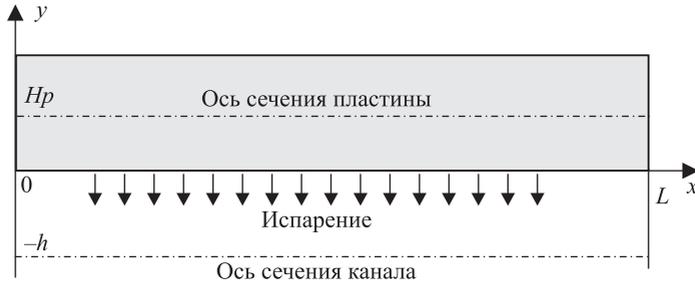


Рис. 1. Фрагмент испарительной насадки

$$V(x, y) \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D \frac{\partial w}{\partial y} \right),$$

$$w(x, y) = \varphi(x, y) w_n(t),$$

$$w_n(t) = (0,0004212t^3 + 0,001831t^2 + 0,4195t + 4,727) \cdot 10^{-3},$$

где V – скорость воздуха, м/с, которая определялась по формуле для ламинарного режима течения, учитывающей гидродинамический начальный участок:

$$V(x, y) = V_{\text{вх}} \left[1,5 - \frac{1,5y^2}{h^2} - 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\left(\frac{\cos\left(\frac{g_n y}{h}\right)}{\cos(g_n)} \right) e^{\left(-4 \frac{g_n^2 v x}{v_{\text{вх}} h^2}\right)}}{g_n^2} \right],$$

где g_n – положительные корни уравнения $\text{tg}x = x$;

v – кинематическая вязкость воздуха, м²/с;

h – половина сечения канала, м;

$V_{\text{вх}}$ – входная скорость потока воздуха, м/с.

В силу необходимости определения температуры поверхности пластины мы добавляем уравнение распределения тепла в пластине, которое классифицируется как дифференциальное уравнение в частных производных второго порядка эллиптического типа:

$$\frac{\partial^2 T_p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_p}{\partial y^2} = 0, \quad x \in (0, L), \quad y \in (0, H_p).$$

Также вводятся условия непроницаемости на торцах пластины

$$\left. \frac{\partial T_p}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad y \in (0, H_p), \quad \left. \frac{\partial T_p}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad y \in (0, H_p);$$

условия четности на оси симметрии канала и пластины

$$\left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=-h} = 0, \quad \left. \frac{\partial w}{\partial y} \right|_{y=-h} = 0, \quad \left. \frac{\partial Tp}{\partial y} \right|_{y=H_p} = 0, \quad x \in (0, L),$$

условия сопряжения

$$t|_{y=0} = Tp|_{y=0}, \quad x \in (0, L).$$

На поверхности пористой пластины

$$\varepsilon RD \frac{\partial w}{\partial y} = \lambda_{\text{пл}} \frac{\partial Tp}{\partial y} - \lambda \frac{\partial t}{\partial y}, \quad y = 0, \quad x \in (0, L),$$

$$D = 10^{-5} \cdot 2,16 \cdot (1 + t/273)^{1,8}, \quad w|_{y=0} = w_{\text{н}}(t_{\text{пов}}).$$

Система замыкается начальными условиями на входе в канал:

$$t|_{x=0} = t_{\text{вх}}, \quad \varphi|_{x=0} = \varphi_{\text{вх}}.$$

Здесь C , ρ , λ , D – соответственно средняя изобарная теплоемкость, Дж/(кг · К), плотность, кг/м³, теплоемкость парогазовой смеси, Вт/м, коэффициент диффузии парогазовой смеси, м²/с;

w и $w_{\text{н}}$ – соответственно плотность и плотность насыщения пара, кг/м³;

t и φ – соответственно температура и относительная влажность охлаждаемого воздуха;

Tp и $\lambda_{\text{пл}}$ – соответственно температура и теплопроводность пластины;

R – удельная теплота парообразования, Дж/кг;

ε – множитель энергетической добавки, учитывающий дополнительную энергию, затраченную на испарение из пористой поверхности пластин.

В более ранних работах модель тепломассопереноса реализовывалась методом прогонки для неявных схем конечно-разностных уравнений. Это было возможно за счет того, что входящие в нее уравнения имели параболический тип. Представленная выше модель включает кроме параболических эллиптические уравнения, что не позволяет применить указанный метод.

Предлагается следующий метод [6] реализации предложенной математической модели. Разобьем половину сечения канала испарительной насадки длиной L и шириной h соответственно на Nx и на Ny частей. Полученная сетка образует $2(Nx + 1)(Ny + 1)$ узлов, для которых мы запишем разностные аналоги входящих в модель соотношений.

Аналогично поступим с половиной сечения пластины испарительной насадки длиной L и шириной H_p . Узлы будем нумеровать целочисленным индексом $j = 0 \dots Nx$ вдоль канала и пластины и $i = 0 \dots Ny$ поперек канала и пластины. Таким образом, получаем $(Nx + 1)(Ny + 1)$ узлов сетки в пластине с неизвестной ее температурой и $(Nx + 1)(Ny + 1)$ узлов сетки в канале с неизвестными температурой и плотностью пара. Учитывая, что на входе в канал температура и плотность пара заданы, получаем $3NxNy + 3Nx + 3Ny + 3$ неизвестных. Столько же линейных конечно-разностных уравнений войдет в систему.

Алгоритм реализации данной модели состоит в следующем. На первом шаге значения коэффициента диффузии и плотности насыщенного пара вычисляются по приведенным выше формулам при температуре входного воздуха. Решается система уравнений и определяется поле температур и плотности пара в узловых точках сетки. Затем по найденному полю температур в каждом узле вычисляются значения коэффициента диффузии, а на поверхности пластины – значение плотности насыщенного пара, и система решается заново. Данный итерационный процесс завершается, когда температура на выходе из охладителя отличается от аналогичной температуры в предыдущей итерации менее чем на $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Очевидным недостатком воздухоохладителя прямого принципа действия является переувлажнение воздуха и, как следствие, ограниченность зон их эксплуатации. Более сложные охладители основываются на принципе косвенного охлаждения. Охлаждение основного потока воздуха в них происходит за счет испарения влаги во вспомогательный поток воздуха и теплопередачи через пластины, образующие испарительную насадку. В отличие от прямого испарения в этом случае начинают играть роль не только капиллярные свойства материала пластин, но и их толщина и теплопроводность.

В отличие от прямого охлаждения, в случае моделирования процессов косвенного охлаждения следует учитывать поперечное термосопротивление испарительных пластин и тот факт, что ось симметрии пластины не является в ней осью симметрии температурного поля. Каналы испарительной насадки при косвенном охлаждении делятся на две качественно разные группы (рис. 2). К первой группе относятся «мокрые» каналы, по которым проходит вспомогательный поток воздуха температуры t , контактирующий с влажными поверхностями капиллярно-пористых пластин. Этот поток насыщается парами испарившейся воды и затем выбрасывается за границы охлаждаемого объема, имея температуру $t_{\text{вых}}$ и относительную влажность $\varphi_{\text{вых}}$. Вторая группа – «сухие» каналы, по которым проходит основной поток воздуха температуры T . Эти каналы защищены от капиллярно-пористых пластин водонепроницаемой пленкой (показана темной линией) и не контактируют с водой. Основной поток воздуха проходит по каналам, не меняя своего влагосодержания, и направляется в охлаждаемый объем, имея температуру $T_{\text{вых}}$.

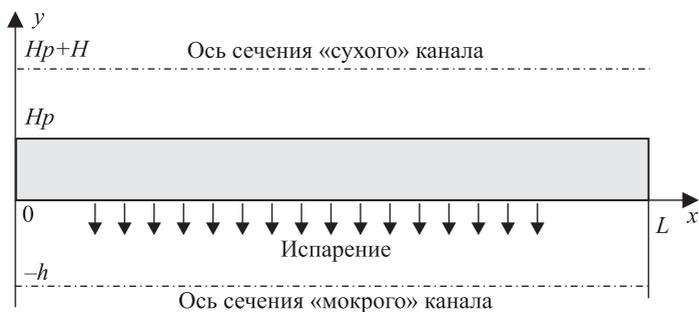


Рис. 2. Фрагмент испарительной насадки

Математическая модель процесса тепломассопереноса состоит из следующих составляющих:

уравнений энергии в каналах

$$\rho_c V_c(x, y) C_c \frac{\partial T}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda_c(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right), \quad x \in (0, L), \quad y \in (Hp, Hp + H),$$

$$\rho V(x, y) C \frac{\partial t}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial y} \right), \quad x \in (0, L), \quad y \in (-h, 0);$$

уравнения переноса массы в «мокрое» канале

$$V(x, y) \frac{\partial w}{\partial x} = \frac{\partial}{\partial y} \left(D(t) \frac{\partial w}{\partial y} \right), \quad x \in (0, L), \quad y \in (-h, 0);$$

уравнения распределения температуры в пластине

$$\frac{\partial^2 Tp}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Tp}{\partial y^2} = 0, \quad x \in (0, L), \quad y \in (0, Hp);$$

входных условий $t|_{x=0} = t_{вх}$, $\varphi_{x=0} = \varphi_{вх}$, $y \in (-h, 0)$, $T|_{x=0} = T_{вх}$, $y \in (Hp, Hp + H)$ – в случае прямого тока;

условий четности на осях симметрии каналов

$$\left. \frac{\partial T}{\partial y} \right|_{y=Hp+H} = 0, \quad x \in (0, L), \quad \left. \frac{\partial t}{\partial y} \right|_{y=-h} = 0, \quad x \in (0, L), \quad \left. \frac{\partial w}{\partial y} \right|_{y=-h} = 0, \quad x \in (0, L);$$

условий непроницаемости на торцах пластины

$$\left. \frac{\partial Tp}{\partial x} \right|_{x=0} = 0, \quad y \in (0, Hp), \quad \left. \frac{\partial Tp}{\partial x} \right|_{x=L} = 0, \quad y \in (0, Hp);$$

условий сопряжения

$$T|_{y=Hp} = Tp|_{y=Hp}, \quad x \in (0, L), \quad t|_{y=0} = Tp|_{y=0}, \quad x \in (0, L),$$

$$\lambda_c(T) \frac{\partial T}{\partial y} = \lambda_{пл} \frac{\partial Tp}{\partial y}, \quad y = Hp, \quad x \in (0, L),$$

$$\varepsilon R(t) D \frac{\partial w}{\partial y} = \lambda_{пл} \frac{\partial Tp}{\partial y} - \lambda \frac{\partial t}{\partial y}, \quad y = 0, \quad x \in (0, L),$$

$$D = 10^{-5} \cdot 2,16 \cdot (1+t/273)^{1,8},$$

$$\lambda_c = 0,01 \cdot (2,44 + 0,007T),$$

$$w(x, y) = \varphi(x, y) w_H(t),$$

$$w_H(t) = (0,0004212t^3 + 0,001831t^2 + 0,4195t + 4,727) \cdot 10^{-3}.$$

Здесь индекс «с» означает соответствующие коэффициенты для сухого воздуха.

Для реализации этой математической модели разобьем сечение пластины, а также половины сечения «мокрого» канала шириной h и «сухого» канала шириной H испарительной насадки длиной L и соответственно на N_x и на N_y частей. Полученная сетка образует $2(N_x + 1)(N_y + 1)$ узлов, для которых запишем разностные аналоги входящих в модель соотношений.

Аналогично поступим с половиной сечения пластины испарительной насадки длиной L и шириной H_p . Узлы будем нумеровать целочисленным индексом $j = 0 \dots N_x$ вдоль канала и пластины и $i = 0 \dots N_y$ поперек канала и пластины. Таким образом, получаем $(N_x + 1)(N_y + 1)$ узлов сетки в пластине с неизвестной ее температурой и $(N_x + 1)(N_y + 1)$ узлов сетки в канале с неизвестными температурой и плотностью пара. Учитывая, что на входе в «мокрый» канал температура и плотность пара заданы, а на входе в «сухой» канал задана температура, получаем $4(N_x + 1)(N_y + 1) - 3N_y = 4N_x N_y + 4N_x + N_y + 4$ неизвестных.

Далее, так же как и для прямого охлаждения, составляются группы конечно-разностных аналогов, входящих в предложенную выше модель уравнений.

Алгоритм реализации данной модели в принципе повторяет алгоритм, используемый в случае прямого охлаждения.

Реализация описанной математической модели позволяет определить характер изменения температуры и влажности парогазовой смеси в теплообменных насадках водоиспарительных охладителей в зависимости от многих факторов, к которым относятся физические свойства пластин, параметры внешнего воздуха и геометрические размеры прямых и косвенных блоков. Вариация геометрических параметров установки для конкретного типа вентиляторного блока – основное средство повышения эффективности работы охладителя, так как влиять на температуру и влажность внешнего воздуха невозможно.

В ходе расчета получена динамика изменения температуры потока воздуха по длине каналов испарительных насадок, которая отражена на рис. 3. Из рисунка видно, что при определенной длине вспомогательных каналов косвенного блока достигается максимальная глубина охлаждения потока

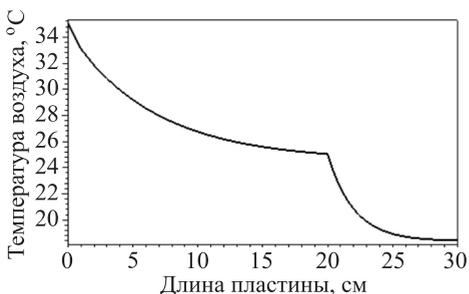


Рис. 3. Изменение температуры воздуха по длине двухступенчатого охладителя

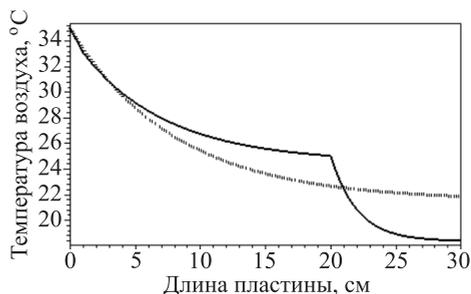


Рис. 4. Сравнение эффективности работы прямого (штриховая линия) и двухступенчатого (сплошная линия) охладителей

воздуха. Дальнейшее увеличение длины каналов смысла не имеет, так как не дает роста глубины охлаждения. Поэтому длину косвенного блока логично ограничить именно этим значением. Аналогично в прямом блоке можно определить длину каналов, при которой достигается максимальная глубина охлаждения.

Также удалось оценить эффективность работы водоиспарительных охладителей разного принципа действия. На рис. 4 иллюстрируются полученные зависимости глубины охлаждения от температуры внешнего воздуха для прямого, косвенного и двухступенчатого охладителей.

Как видно из рисунка, двухступенчатые охладители дают наибольшую глубину охлаждения по сравнению с прямыми и косвенными охладительными установками, что говорит в пользу выбора этой системы охлаждения.

Таким образом, использование предложенной выше математической модели позволяет оценить эффективность работы водоиспарительных охладителей разного типа и выбрать геометрические параметры испарительных насадок прямого и косвенного блоков двухступенчатых водоиспарительных воздухоохлаждающих установок.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шацкий В.П., Федулова Л.И., Грицких О.И. Об охлаждении герметичных объемов водоиспарительными теплообменниками // Изв. вузов. Строительство. 2008. № 11–12. С. 39–43.
2. Шацкий В.П., Федулова Л.И., Чесноков А.С., Седаев А.А. Моделирование физических процессов в пластинчатых водоиспарительных кондиционерах косвенного принципа действия // Науч. вестн. ВГАСУ. Строительство и архитектура. 2012. № 2(26). С. 29–34.
3. Шацкий В.П., Федулова Л.И., Шалиткина А.Н. К вопросу о распределении потоков воздуха в двухступенчатом водоиспарительном охладителе // Вестн. ВГТУ. Энергетика, 2002. Вып. 7.2. С. 53–56.
4. Шацкий В.П., Федулова Л.И., Шалиткина А.Н. О выборе параметров двухступенчатого водоиспарительного охладителя воздуха // Изв. вузов. Строительство. 2001. № 6. С. 60–63.
5. Шацкий В.П., Федулова Л.И., Шалиткина А.Н. Оптимизация геометрических параметров охладителей двухступенчатого принципа действия // Изв. вузов. Строительство. 2003. № 4. С. 79–84.
6. Шацкий В.П., Гулевский В.А. О некоторых аспектах моделирования работы пластинчатых теплообменников // Изв. вузов. Строительство. 2011. № 12. С. 84–89.

Шацкий Владимир Павлович, д-р техн. наук, проф.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

Федулова Людмила Ивановна, канд. техн. наук, доц.

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

Гриднева Ирина Владимировна, канд. физ.-мат. наук

Воронежский государственный аграрный университет им. императора Петра I

Получено 22.07.16

Shatsky Vladimir Pavlovich, DSc, Professor

Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, Russia

Phedulova Lyudmila Ivanovna, PhD, Ass. Professor

Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, Russia

Gridneva Irina Vladimirovna, PhD, Ass. Professor

Voronezh State Agricultural University named after Emperor Peter I, Russia

TO THE QUESTION OF MODELING WATER-EVAPORATIVE COOLERS TWO-STAGE PRINCIPLE OF OPERATION

The paper proposes mathematical model of heat and mass transfer for water-evaporative coolers two-stage principle of operation.

Key words: two-stage of the water-evaporative coolers of air, heat and mass transfer, indirect cooling, direct cooling.

REFERENCES

1. Shatsky V.P., Phedulova L.I., Gritskikh O.I. Ob okhlazhdenii germetichnykh ob'ёмov vodoisparitel'nymi teploobmennikami [On cooling of pressurized volumes using water evaporation heat exchangers]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2008. No. 11–12. Pp. 39–43. (in Russian)
2. Shatsky V.P., Phedulova L.I., Chesnokov A.S., Sedaev A.A. Modelirovanie fizicheskikh protsessov v plastinchatykh vodoisparitel'nykh konditsionerakh kosvennogo printsipa deystviya [Modelling of physical processes in the plate-conditioners evaporative indirect action principle]. *Nauchnyy vestnik VGASU. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Scientific Herald of VSUACE. Construction and architecture]. 2012. No. 2(26). Pp. 29–34. (in Russian)
3. Shatsky V.P., Phedulova L.I., Shalitkina A.N. K voprosy o raspredelenii potokov vozdukha v dvukhstupenchatom vodoisparitel'nom okhladitele [On the distribution of the air flow in a two-stage evaporative cooler]. *Vestnik VGTU. Energetika* [Herald of VGTU. Energetics]. 2002. No. 7.2. Pp. 53–56. (in Russian)
4. Shatsky V.P., Phedulova L.I., Shalitkina A.N. O vybore parametrov dvukhstupenchatogo vodoisparitel'nogo okhladitelya vozdukha [On the choice of parameters of a two-stage evaporative air cooler]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2001. No. 6. Pp. 60–63. (in Russian)
5. Shatsky V.P., Phedulova L.I., Shalitkina A.N. Optimizatsiya geometricheskikh parametrov okhladiteley dvukhstupenchatogo printsipa dey'stviya [Optimization of geometrical parameters of cooling two-stage operation]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2003. No. 4. Pp. 79–84. (in Russian)
6. Shatsky V.P., Gulevsky V.A. O nekotorykh aspektakh modelirovaniya raboty plastinchatykh teploobmennikov [Some aspects of modelling plate heat exchangers]. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo* [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2011. No. 12. Pp. 84–89. (in Russian)

УДК 628.112

А.Г. ЖУЛИН, Л.В. БЕЛОВА

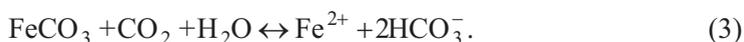
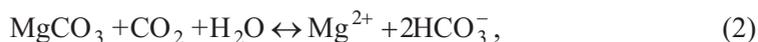
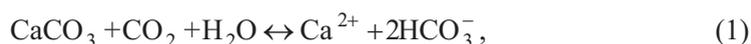
УПРОЩЕННАЯ ФОРМУЛА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕЛИЧИНЫ pH ПОСЛЕ ДЕГАЗАЦИИ ПОДЗЕМНОЙ ВОДЫ

Значение pH воды, используемой для промышленных и хозяйственно-питьевых целей, является важным показателем стабилизационных свойств воды при ее обезжелезивании. Глубокое удаление CO_2 из воды интенсифицирует процесс обезжелезивания, приводит к увеличению окислительно-восстановительного потенциала и значения pH системы, тем самым улучшая барьерную функцию очистных сооружений по железу. Значения pH могут быть установлены непосредственным измерением или по расчетным формулам. Предложена упрощенная расчетная формула определения величины pH в производственных условиях при удалении избыточной углекислоты в процессе обезжелезивания.

Ключевые слова: подземная вода, дегазация, угольная кислота, углекислотное равновесие, константы диссоциации угольной кислоты, расчетные формулы водородного показателя воды.

В Тюменском регионе для хозяйственно-питьевого водоснабжения широко используются подземные воды, на химический состав которых влияют болотная система Западной Сибири и, в ряде случаев, наличие нефтегазоносных горизонтов. В подземной воде отмечается большое содержание растворенных органических примесей (перманганатная окисляемость 11,7–23,0 мг/дм³), повышенные концентрации углекислого газа (20,0–200,0 мг/дм³), сероводорода (0,20–1,95 мг/дм³) и метана (5,3–60,0 мг/дм³). Газовые составляющие создают восстановительную среду, которая обуславливает содержание в воде растворенных форм железа (1,14–14,00 мг/дм³), марганца (0,02–3,80 мг/дм³), их органокомплексов, и негативно влияют на процессы очистки воды [1].

Гидрокарбонаты, ионы кальция, магния и железа, находящиеся в подземных водах, образуются в результате выщелачивания горных пород в присутствии угольной кислоты [2]:



Двухвалентное растворенное железо в подземной воде региона присутствует в основном в виде $\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2$, устойчивость соединения зависит от наличия углекислоты и растворенного кислорода. Содержание в воде угольной кислоты не регламентируется СанПиН 2.1.4.1074–01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества», однако процессы обезжелезива-

ния, коагуляции, умягчения, обессоливания ионообменными методами, обескремнивания солями алюминия, стабилизационной обработки и борьбы с коррозией в значительной степени зависят от ее концентрации [3].

Глубокое удаление CO_2 из подземной воды интенсифицирует процесс обезжелезивания, приводит к увеличению окислительно-восстановительного потенциала и значения рН системы, тем самым улучшая барьерную функцию очистных сооружений по железу.

Снижение концентрации свободного диоксида углерода из воды в дегазаторах барботажного типа [4] является физическим процессом. Барботажный дегазатор представляет собой круглое или прямоугольное в плане емкостное сооружение, в котором осуществляется продувка противоточно движущегося объема воды воздухом. Воздух в сооружении распределяется дырчатыми устройствами или колпачками. Десорбция диоксида углерода из жидкой фазы в газообразную происходит за счет разности его парциальных давлений в воде и воздухе, поэтому особенности химического состава подземных вод влияют незначительно на этот процесс, но снижение концентрации диоксида углерода в воде может повлиять на изменение щелочности, карбонатной жесткости, солесодержания и рН воды.

Сравнительный анализ изменения показателей качества воды до и после обезжелезивания в пос. Боровский Тюменского района (табл. 1) показал, что благодаря окислению кислородом воздуха снижаются цветность, окисляемость перманганатная, содержание аммония, железа общего, марганца.

Таблица 1. Качественная характеристика поступающей и очищенной подземной воды станции обезжелезивания ОАО «Птицефабрика "Боровская"»

Контролируемые показатели	Норма ПДК согласно СанПиН	Скважина № 3	РЧВ	Поселок
1	2	3	4	5
Запах, балл	До 2	2	0	
Цветность, град.	20	63,58	36,43	48,40
Мутность, мг/дм ³	2,6	25,09	1,82	1,40
Аммоний (по азоту), мг/дм ³	2,0	9,60	0,71	
Нитраты, мг/дм ³	45	0,75	2,25	
Нитриты, мг/дм ³	3,0	<0,02	<0,03	
Кальций, мг/дм ³	30–140	55,97	54,26	
Железо общее, мг/дм ³	0,3	3,47	<0,10	0,11
Хлориды, мг/дм ³	350	16,40		19,95
Общая жесткость, °Ж	7,0	4,67	4,5	5,30
Водородный показатель, ед.	6–9	6,83	7,31	7,06
Сухой остаток, мг/дм ³	1000	328,5	315,50	310,80
Окисляемость перманганатная, мг/дм ³	5,0	6,58	5,60	5,60
Марганец, мг/дм ³	0,1	0,307	0,092	
Фториды, мг/дм ³	1,5	0,62	0,18	
Медь, мг/дм ³	1,0	<0,001	<0,001	

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5
Нефтепродукты, мг/дм ³	0,1	0,0438	0,0181	0,021
АПАВ, мг/дм ³	0,5	<0,025	<0,025	<0,025
Фенолы, мг/дм ³	0,001	<0,0005	<0,0005	
Хлор остаточный, мг/дм ³	0,3–0,5	–	<0,5	
Свободная углекислота, мг/дм ³	Не рegl.	102,0	34,0	
Сероводород, мг/дм ³	0,003	0,0085	<0,005	
Цинк, мг/дм ³	5,0	<0,005	<0,005	
Мышьяк, мг/дм ³	0,05	<0,005	<0,005	
Молибден, мг/дм ³	0,25	<0,025	<0,025	
Кремний, мг/дм ³	10	16,82	16,63	

Общая жесткость и сухой остаток изменяются незначительно, так как концентрация свободного диоксида углерода в воде превышает равновесную его концентрацию соответственно катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} остаются в равновесии с анионом HCO_3^- [5].

Определение равновесного количества углекислоты в практике водоснабжения осуществляется по показателям щелочности и солесодержания [6]. Кроме расчетных и номограммных методов используются прямые экспериментальные методы (карбонатные испытания). Приближенное значение концентрации равновесного диоксида углерода, в зависимости от щелочности Щ и рН природной воды (в пределах 5,5–8,3), определяется по формуле [7]

$$[\text{CO}_2]_{\text{равн}} = \alpha \text{Щ}^3, \quad (4)$$

где $\alpha = 0,268$ для воды с солесодержанием 100–400 мг/дм³.

Снижение содержания углекислоты до равновесной ее концентрации в ходе исследований не рассматривалось, было принято рекомендованное СП 31.13330.2012 «Водоснабжение. Наружные сети и сооружения» значение $[\text{CO}_2] \leq 40$ мг/дм³. В процессе исследований и эксплуатации станций обезжелезивания минимальные значения содержания углекислоты фиксировались в пределах 22–30 мг/дм³.

Изменение величины щелочности и рН изучалось в производственных условиях при барботаже объема природной воды продолжительностью ($t_{\text{барб}}$) 60 мин, с отбором проб через каждые 10 мин. Концентрация углекислоты и значение общей щелочности определялись методом прямого титрования согласно ГОСТ 26449.2–85 и ГОСТ 31957–2012, водородный показатель воды измерялся иономером И-120. Исходные показатели углекислоты, щелочности и водородного показателя составили соответственно $[\text{CO}_2]_{\text{исх}} = 81,8$ мг/дм³, Щ = 1,88 ммоль/дм³, рН = 7,02. Зависимость изменения щелочности воды от содержания угольной кислоты приведена на рис. 1.

В первые 10 мин барботирования щелочность воды изменилась незначительно (на 0,03 ммоль/дм³), несмотря на значительное снижение содер-

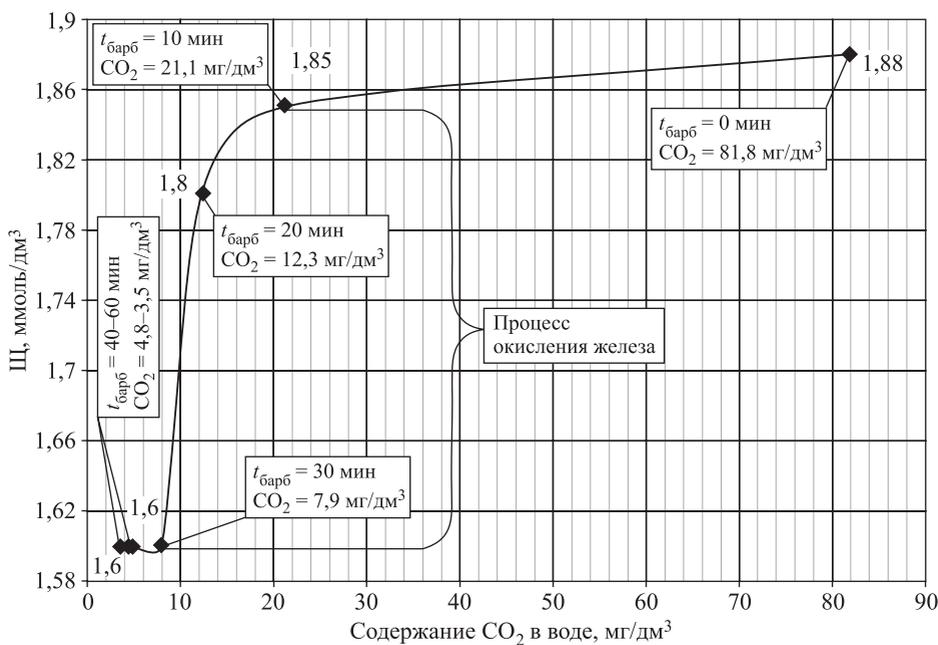


Рис. 1. Зависимость изменения щелочности от содержания CO₂ в воде при барботаже

жания углекислоты (до 21,1 мг/дм³). По мере окисления железа и других неустойчивых бикарбонатных соединений (в период от 10 до 30 мин) фиксировалось изменение окраски воды (появлялся желтоватый оттенок), снижение щелочности составило 0,25 ммоль/дм³, в последующие 30 мин величина щелочности воды не изменялась.

Снижение щелочности при обезжелезивании воды обусловлено переходом HCO₃⁻ в CO₂ и по завершению окисления железа щелочность не меняется, так как концентрация CO₂ в воде остается больше равновесной – минимальное содержание CO₂ 3,5 мг/дм³, для данных условий равновесное содержание углекислоты, рассчитанное по формуле (4), составит [CO₂]_{равн} = αЩ³ = 0,268 · 1,88³ ≈ 1,78 мг/дм³.

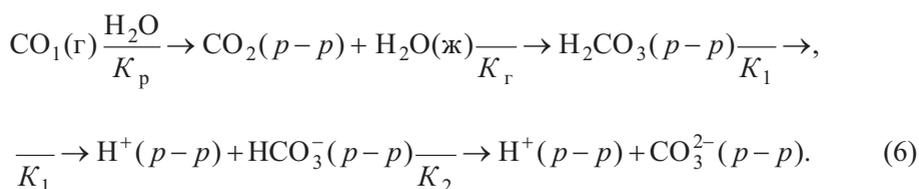
Подземная вода региона характеризуется относительно устойчивыми значениями водородного показателя – для одного и того же источника изменяется в пределах ±1, что объясняется буферными свойствами воды. Буферность воды обусловлена наличием гидрокарбонатной буферной системы, в состав которой входят растворенная углекислота CO₂ и гидрокарбонатные ионы HCO₃⁻. Данные по качественному составу подземной воды г. Сургута Тюменской области, представленные В.В. Дзюбо [1], показали динамику изменения значения pH источника в течение пяти лет, значения pH воды фиксировались в пределах 6,75–7,50.

Для буферных растворов величина pH в процессе дегазации воды в общем случае вычисляется по уравнению Henderson – Hasselbalch [8]

$$\text{pH} = \text{pK} + \lg \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} \quad (5)$$

Для определения изменения величины рН в процессе дегазации воды были проведены экспериментальные исследования в производственных условиях и сравнительные расчеты, основанные на уравнениях диссоциации угольной кислоты.

При взаимодействии CO_2 с водой образуется неустойчивая угольная кислота H_2CO_3 , которая относится к слабым электролитам и существует только в водном растворе, придавая ему кисловатый вкус. Из всего количества растворенного CO_2 только 0,3 % взаимодействует с водой до образования угольной кислоты, остальная часть находится в свободном состоянии. Реакция гидратации диоксида углерода происходит медленно в сравнении с диссоциацией угольной кислоты. Последовательность равновесий при взаимодействии в системе $\text{CO}_2 - \text{H}_2\text{O}$ представлена в виде [9]



Константы равновесия на промежуточных этапах при 20 °С имеют значение

$$K_p = \frac{[\text{CO}_2]}{P_{\text{CO}_2}} = 3,6 \cdot 10^{-2}, \quad (7)$$

где K_p – константа растворимости диоксида углерода, описываемая законом Генри–Дальтона, согласно которому растворимость CO_2 в воде будет пропорциональна его парциальному давлению P_{CO_2} в смеси газов над жидкостью

$$K_r = \frac{[\text{H}_2\text{CO}_3]}{[\text{CO}_2]} = 3 \cdot 10^{-3}, \quad (8)$$

$$K_1 = \frac{[\text{H}^+][\text{HCO}_3^-]}{[\text{H}_2\text{CO}_3]} = 1,3 \cdot 10^{-4}, \quad (9)$$

$$K_2 = \frac{[\text{H}^+][\text{CO}_3^{2-}]}{[\text{HCO}_3^-]} = 5 \cdot 10^{-11}. \quad (10)$$

Константы диссоциации угольной кислоты зависят от температуры воды, при этом константа скорости гидратации K_r диоксида углерода CO_2 снижается, а константы диссоциации первой K_1 и второй ступеней K_2 увеличиваются. Константа диссоциации угольной кислоты второй ступени с образованием ионов карбоната CO_3^{2-} имеет значительно меньшее значение, чем первой ступени с образованием ионов бикарбоната HCO_3^- , соответственно влияние второй ступени диссоциации не учитывалось при исследовании дегазации воды до остаточных концентраций свободной угольной кислоты более равновесных значений.

Содержащиеся в воде ионы бикарбоната HCO_3^- , карбоната CO_3^{2-} и диоксид углерода связаны между собой углекислотным равновесием



Согласно уравнению (11) для поддержания в растворе определенного количества бикарбонатных ионов HCO_3^- необходимо наличие равновесной углекислоты.

Принимая к рассмотрению константу диссоциации угольной кислоты первой ступени (9), определяем концентрацию водородных ионов в воде:

$$[\text{H}^+] = K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3] / [\text{HCO}_3^-]. \quad (12)$$

Изменение концентрации водородных ионов в процессе аэрации запишем в виде, где индексы «исх», «кон» – показатели для исходной воды перед аэрацией и на выходе из дегазатора:

$$[\text{H}^+]_{\text{исх}} - [\text{H}^+]_{\text{кон}} = K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{исх}} / [\text{HCO}_3^-]_{\text{исх}} - K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{кон}} / [\text{HCO}_3^-]_{\text{кон}}. \quad (13)$$

Тогда изменение рН воды в процессе дегазации $\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}}$ оценивается разностью логарифмов концентраций водородных ионов до и после аэрации

$$\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}} = \lg [\text{H}^+]_{\text{исх}} - \lg [\text{H}^+]_{\text{кон}}. \quad (14)$$

Изменение водородного показателя $\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}}$ в логарифмической форме будет иметь вид:

$$\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}} = \lg (K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{исх}} / [\text{HCO}_3^-]_{\text{исх}} : K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{кон}} / [\text{HCO}_3^-]_{\text{кон}}), \quad (15)$$

$$\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}} = \lg \frac{K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{исх}} [\text{HCO}_3^-]_{\text{кон}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{исх}} K_1 [\text{H}_2\text{CO}_3 + \text{CO}_2]_{\text{кон}}}, \quad (16)$$

так как концентрация H_2CO_3 незначительна, после сокращения получим окончательный вид формулы

$$\Delta\text{pH}^{\text{дегаз}} = \lg \frac{[\text{CO}_2]_{\text{исх}} [\text{HCO}_3^-]_{\text{кон}}}{[\text{HCO}_3^-]_{\text{исх}} [\text{CO}_2]_{\text{кон}}}. \quad (17)$$

Проведенные исследования по изменению величины щелочности, содержания свободной углекислоты, рН и данные [10, 11] показали, что концентрация ионов $[\text{HCO}_3^-]$ в процессе дегазации воды изменяется незначительно ($0,28 \text{ ммоль/дм}^3$) в сравнении с изменением содержания $[\text{CO}_2]$. Следовательно, в производственных условиях для оперативного контроля процесса допустимо пользоваться упрощенным видом формулы (17):

$$\Delta pH^{\text{дегаз}} = \lg \frac{[CO_2]_{\text{исх}}}{[CO_2]_{\text{кон}}} \quad (18)$$

Расчетные данные изменения показателя рН в процессе дегазации, полученные по формуле (17) и (18), а также экспериментальные данные приведены в табл. 2.

Таблица 2. Экспериментальные и расчетные данные по определению изменения величины рН в процессе дегазации

Показатели	$t_{\text{барб}}, \text{МИН}$						
	0	10	20	30	40	50	60
$[CO_2], \frac{10^{-3} \text{ моль}}{\text{мг/дм}^3}$	$\frac{1,859}{81,8}$	$\frac{0,480}{21,1}$	$\frac{0,280}{12,3}$	$\frac{0,180}{7,9}$	$\frac{0,109}{4,8}$	$\frac{0,100}{4,4}$	$\frac{0,080}{3,5}$
$[HCO_3^-], 10^{-3} \text{ моль/дм}^3$	1,88	1,85	1,80	1,60	1,60	1,60	1,60
pH_3	7,02	7,56	7,80	8,11	8,24	8,35	8,37
ΔpH_3	–	0,54	0,78	1,09	1,22	1,33	1,35
$\Delta pH^{\text{дегаз}}$ формула (17)	–	0,582	0,804	0,945	1,161	1,199	1,299
Относительные погрешности экспериментальных и расчетных (формула (17)) значений, %	–	–7,69	–3,08	+13,30	+4,80	+9,85	+3,78
$\Delta pH^{\text{дегаз}}$ формула (18)	–	0,588	0,823	1,015	1,231	1,269	1,369
Относительные погрешности экспериментальных и расчетных (формула (18)) значений, %	–	–8,89	–5,51	+6,88	–0,90	+3,45	–1,41

Примечание. Погрешность иономера И-120 $\pm 0,10$.

Так как относительная погрешность экспериментальных и расчетных данных при применении предложенной упрощенной формулы (18) составляет не более 9 %, а формулы (17) в некоторых случаях – 13 %, использование зависимости (18) рекомендовано к применению. Подстановка представленных авторами данных [10, 11] в предложенную формулу (18) дала значительную тождественность результатов при конечных значениях углекислоты выше равновесных значений.

При известном значении водородного показателя исходной воды $pH_{\text{исх}}$ можно определить значение рН на выходе из дегазатора $pH_{\text{кон}}^{\text{дегаз}}$ по изменению концентрации CO_2 согласно формуле:

$$pH_{\text{кон}}^{\text{дегаз}} = pH_{\text{исх}} + \Delta pH^{\text{дегаз}} = pH_{\text{исх}} + \lg \frac{[CO_2]_{\text{исх}}}{[CO_2]_{\text{кон}}} \quad (19)$$

Сходимость расчетных значений по уравнению (19) и экспериментальных данных иллюстрируется рис. 2, расчетные данные имеют хорошую сходимость, уравнение (19) может быть использовано для определения значения рН воды на выходе из барботера.

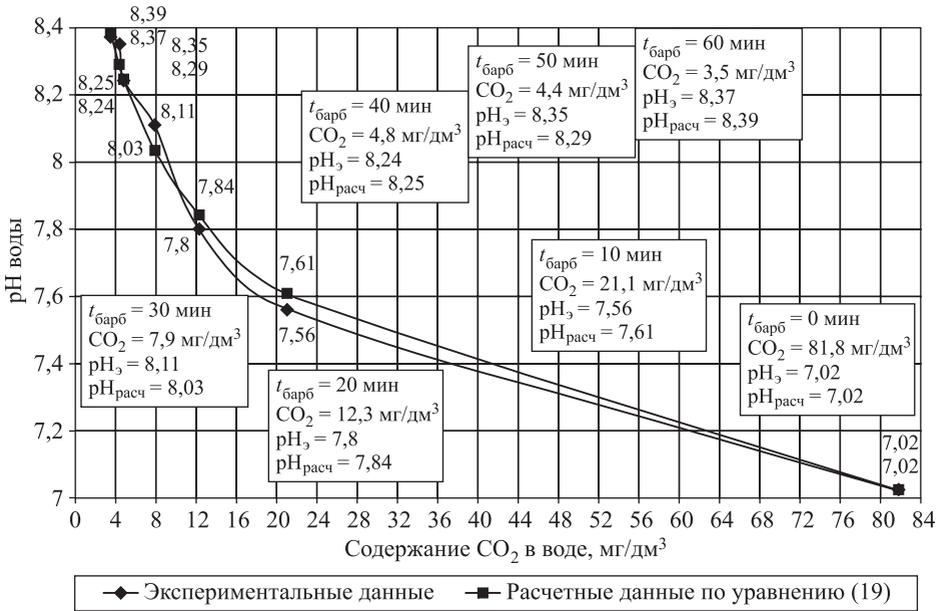


Рис. 2. Зависимость изменения величины pH от содержания в воде CO₂

Выводы. 1. В процессе обезжелезивания снижаются окисляемость, концентрации железа, марганца и аммонийной группы за счет их окисления при аэрации.

2. В результате уменьшения содержания CO₂ в воде происходит увеличение значения величины pH.

3. Щелочность воды при дегазации изменяется незначительно и при остаточной концентрации углекислоты выше равновесной карбонатная жесткость и солесодержание не изменяются.

4. Значение pH в процессе дегазации предлагается определять по уравнению (19).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дзюбо В.В., Алферова Л.И. Повышение эффективности удаления углекислоты как способ интенсификации процесса очистки подземных вод // Питьевая вода. 2005. № 2. С. 21.
2. Алекин А.О. Основы гидрохимии: учеб. пособие. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 444 с.
3. Клячко В.А., Апельцин И.Э. Очистка природных вод. М.: Стройиздат, 1971. 579 с.
4. Жулин А.Г., Сидоренко О.В., Белова Л.В. Барботажные дегазаторы станций обезжелезивания (общие рекомендации к применению и расчету) // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 3. С. 39–48.
5. Жулин А.Г., Белова Л.В. Влияние десорбции углекислоты на изменение качественного состава подземных вод // Стратегические проекты освоения водных ресурсов Сибири и Арктики в XXI веке: концептуальное мышление и идентификация личности: сб. докл. междунар. науч.-практ. конф. Т. 1. Тюмень: ТюмГАСУ, 2012. С. 61–67.
6. Николадзе Г.И. Улучшение качества подземных вод. М.: Стройиздат, 1987. 240 с.

7. Громогласов А.А., Копылов А.С., Пильщиков А.П. Водоподготовка: процессы и аппараты. М.: Энергоатомиздат, 1990. 272 с.
8. Возная Н.Ф. Химия воды и микробиология: учеб. пособие для вузов. М.: Высш. шк., 1979. 340 с.
9. Суворов А.В., Никольский А.Б. Общая химия: учеб. СПб.: Химия, 1995. 624 с.
10. Рушников А.Ю. Влияние аэрации на углекислотное равновесие в воде. Ч. 1 // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2015. № 11. С. 32–35.
11. Рушников А.Ю. Влияние аэрации на углекислотное равновесие в воде. Ч. 2 // Сантехника, отопление, кондиционирование. 2016. № 2. С. 30–35.

Жулин Александр Гаврилович, канд. техн. наук, доц.

Тюменский индустриальный университет

Белова Лариса Владимировна, асп.

Тюменский индустриальный университет

Получено после доработки 05.07.16

Zhulin Alexander Gavrilovich, PhD, Ass. Professor

Tyumen Industrial University, Russia

Belova Larisa Vladimirovna, Post-graduate Student

Tyumen Industrial University, Russia

SIMPLIFIED FORMULA OF PH MEASURING AFTER GROUND WATER DEGASIFICATION

pH value of water used for industrial, drinking and household purposes is an important index in stabilization property of water which undergone defferization. Deep elimination of CO₂ from water intensifies the process of defferization and leads both to the growth of oxidation-reduction potential and pH value of the system. This improves the barrier function of treatment facilities on ferrum. pH value can be determined by direct measurements or calculation formula. In the article a simplified formula for pH value calculation under production conditions while eliminating excessive CO₂ in the process of defferization is suggested.

К е у w o r d s: ground water, degasification, carbon dioxide, carbon dioxide balance, CO₂ dissociation constants, pH value calculation formulas.

REFERENCES

1. Dzubo V.V., Alferova L.I. Povyshenie effektivnosti udaleniya uglekisloty kak sposob intensivifikatsii protsessa ochestki podzemnykh vod [Efficiency improvement of carbon dioxide elimination as the way to intensify the process of ground water treatment]. Pit'evaya voda [Drinking water]. 2005. No. 2. Pp. 21. (in Russian)
2. Alekin A.O. Osnovy gidrokhimii [Basics of hydrochemistry]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1970. 444 p. (in Russian)
3. Klyachko V.A., Apel'tsin I.E. Ochestka prirodnykh vod [Natural waters treatment]. Moscow, Stroyizdat, 1971. 579 p. (in Russian)
4. Zhulin A.G., Sidorenko O.V., Belova L.V. Barbotazhnye degazatory stantsiy obezhezhevaniya (obshchie rekomendatsii k primeneniyu i raschetu) [Bubble deaerators iron removal plants (general recommendations for use and calculation)]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 3. Pp. 39–48. (in Russian)

5. Zhulin A.G., Belova L.V. Vliyanie desorbtsii uglekisloty na izmenenie kachestvennogo sostava podzemnykh vod [CO₂ desorption influence on the qualitative change of ground waters]. Strategicheskie proekty osvoeniya vodnykh resursov Sibiri i Arktiki v XXI veke: kontseptual'noe myshlenie i identifikatsiya lichnosti: sbornik dokladov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. T. 1 [Strategic projects of Siberia and Arctic water resource development in 21st century: concept thinking and person identification: Reports book of international applied research conference P. 1]. Tyumen, RIO FGBOU VPO «TyumGASU», 2012. Pp. 61–67. (in Russian)
 6. Nikoladze G.I. Uluchshenie kachestva podzemnykh vod [Ground waters quality improvement]. Moscow, Stroyizdat, 1987. 240 p. (in Russian)
 7. Gromoglasov A.A., Kopylov A.S., Pil'shchikov A.P. Vodopodgotovka: protsessy i apparaty [Water treatment: processes and devices]. Moscow, Energoatomizdat, 1990. 272 p. (in Russian)
 8. Voznaya N.F. Khimiya vody i mikrobiologiya [Chemical hydrology and microbiology]. Moscow, Vysshaya shkola, 1979. 340 p. (in Russian)
 9. Suvorov A.V., Nikol'sky A.B. Obschaya khimiya: Uchebnik [General chemistry: Manual]. Saint-Petersburg, Khimiya, 1995. 624 p. (in Russian)
 10. Rushnikov A.Yu. Vliyanie aeratsii na uglekislotnoe ravновесие v vode. Chast' 1 [Aeration effect on water carbon-dioxide balance. Part 1.] Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie [Sanitaryware, heating and ventilation systems]. 2015. No. 11. Pp. 32–35. (in Russian)
 11. Rushnikov A.Yu. Vliyanie aeratsii na uglekislotnoe ravновесие v vode. Chast' 2 [Aeration effect on water carbon-dioxide balance. Part 2.] Santekhnika, otoplenie, konditsionirovanie [Sanitaryware, heating and ventilation systems]. 2016. No. 2. Pp. 30–35. (in Russian)
-

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ



УДК 621.542.001

**К.Н. РОМАНОВ, БАТТУЛГА ГЭНДЭН, Е.Ю. ТЮМЕНЦЕВ,
Т.Р. КВАРЦХАЛАЯ, В.А. ГВОЗДЕВ, Э.А. АБРАМЕНКОВ**

ДРОССЕЛЬНЫЙ ПНЕВМОУДАРНЫЙ МЕХАНИЗМ С ЧАСТИЧНЫМ ВЫТЕСНЕНИЕМ ВОЗДУХА ИЗ КАМЕРЫ РАБОЧЕГО ХОДА ПОСРЕДСТВОМ ТРУБКИ

Рассматриваются синтезированные пневматические ударные механизмы и варианты применения признаков-элементов частичного вытеснения в виде трубки и обсуждаются особенности рабочего процесса с применением его физико-математического описания.

Ключевые слова: воздухоподводящая трубка, канал-паз, канал-лыска, дроссель впуска, камера, синтез, механизм.

Материалы статьи содержат результаты качественных исследований взаимовлияния пар конструктивных признаков-элементов [1, 2]. Сравнение синтезированных пневмоударных механизмов носит качественный характер и осуществляется на уровне принципиальных схем механизмов, их краткого кинематического устройства и физико-математического описания рабочего процесса. Последнее служит основанием сравнения качественных свойств механизмов.

Цель исследований – установление степени взаимовлияния отдельных пар конструктивных признаков-элементов средств частичного вытеснения воздуха, выполненных на трубке. При этом сравнить степень влияния на качественную сторону рабочего процесса дроссельного пневмоударного механизма (ДПУМ), приняв во внимание его физико-математическое описание.

Предмет исследования – отдельные функции, входящие в уравнения физико-математического описания рабочего процесса ДПУМ.

Представленные принципиальные схемы ДПУМ содержат одинаковые конструктивные признаки-элементы, определяющие их рабочие процессы. Однако их парные комбинации, например, для дроссельных каналов впуска, перепуска и форсажа, являются основополагающими при изучении динамических процессов и позволяют с большей глубиной изучить их особенности.

© Романов К.Н., Баттулга Гэндэн, Тюменцев Е.Ю., Кварцхалая Т.Р., Гвоздев В.А., Абраменков Э.А., 2016

В данной работе основное внимание уделяется качественному сравнению парных признаков-элементов и опускается их количественное сравнение, поскольку оно является самостоятельной задачей.

Синтезированный вариант ДПУМ с управляющим признаком-элементом в виде канала-паза на боковой поверхности осуществляет процесс частичного вытеснения воздуха, который взаимосвязан с применением процесса форсажа со стороны камеры рабочего хода [3].

Принципиальная схема синтезированного пневмударного механизма представлена на рис. 1 и снабжена кратким описанием устройства и взаимодействия между средствами воздухоподвода: каналами впуска, перепуска, вытеснения и выпуска.

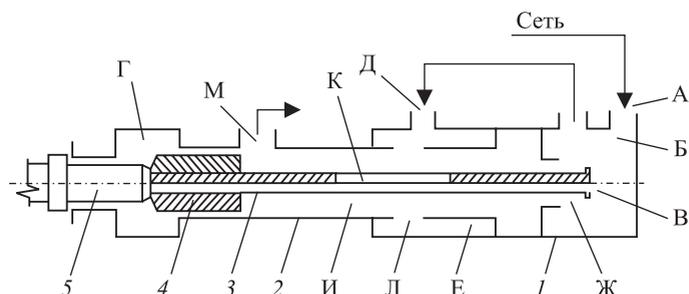


Рис. 1. Принципиальная схема синтезированного ДПУМ.
Обозначения см. в тексте описания

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по каналу А площадью сечения $\omega_{\text{п}}$ в стакане 1 цилиндра 2 массой $m_{\text{к}}$ в предкамеру Б сетевого воздуха объемом $V_{\text{п}}$, откуда одновременно по каналу В площадью сечения $\omega_{\text{хт}}$ в трубке 3 в камеру Г холостого хода объемом $V_{\text{х}}$ по каналу Д площадью сечения $\omega_{\text{фр}}$ в форсажную непроточную камеру Е объемом $V_{\text{фр}}$, а также по кольцевому дроссельному каналу Ж объемом $V_{\text{р}}$ в камеру И рабочего хода площадью сечения $\omega_{\text{в}}$. В зависимости от положения ударника 4 массой $m_{\text{у}}$ со сквозным каналом для пропуска трубки с каналом частичного вытеснения в виде продольного канала-паза, наклонного или винтового канала-паза К площадью сечения $\omega_{\text{рф}}$ на ее боковой поверхности на уровне форсажного канала Л площадью сечения $\omega_{\text{ар}} = \omega_{\text{ах}}$ часть воздуха из камеры И перепускается в объем со стороны камеры Г с одновременным его выпуском через канал М. При закрытом канале Л воздух из сети в камере Е накапливается, а при открытом канале выпускается в камеру И, создавая в ней дополнительный импульс давления.

Опорожнение камер Г, Е и И осуществляется через канал М выпуска.

Под действием разности силовых импульсов давления со стороны камер Г и И ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 5.

Выполнение канала частичного вытеснения воздуха со стороны камер рабочего хода при холостом ходе ударника позволит понизить противодействие воздуха, снизить силу отдачи и вибрации цилиндра и корпуса, что улучшит условия эксплуатации ручной машины ударного действия. При этом воздух из форсажной камеры, поступающий при движущемся ударнике,

будет способствовать приращению его предударной скорости. Трубчатый воздухоподвод в камеру холостого хода дает возможность выполнить цилиндр с бесканальными стенками, чем уменьшит его массу.

Принципиальная схема синтезированного пневмодарного механизма представлена на рис. 2 и снабжена кратким описанием устройства и взаимодействия между средствами воздухоподвода.

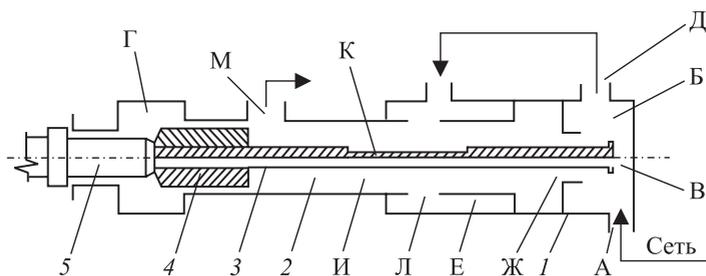


Рис. 2. Принципиальная схема синтезированного ДПУМ.
Обозначения в тексте описания

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по каналу А площадью сечения $\omega_{\text{п}}$ в стакане 1 цилиндра 2 массой $m_{\text{к}}$ в предкамеру Б сетевого воздуха объемом $V_{\text{п}}$, откуда одновременно по каналу В площадью сечения $\omega_{\text{хт}}$ в трубке 3 в камеру Г холостого хода объемом $V_{\text{х}}$ по каналу Д площадью сечения $\omega_{\text{фр}}$ в форсажную непроточную камеру Е объемом $V_{\text{фр}}$, а также по кольцевому дроссельному каналу Ж объемом $V_{\text{р}}$ в камеру И рабочего хода площадью сечения $\omega_{\text{в}}$. В зависимости от положения ударника 4 массой $m_{\text{у}}$ со сквозным каналом для пропуска трубки с каналом частичного вытеснения в виде продольного канала-лыски, наклонного или винтового канала-паза К площадью сечения $\omega_{\text{рф}}$ на ее боковой поверхности на уровне форсажного канала Л площадью сечения $\omega_{\text{ар}} = \omega_{\text{ах}}$ часть воздуха из камеры И перепускается в объем со стороны камеры Г с одновременным его выпуском через канал М. При закрытом канале Л воздух из сети в камере Е накапливается, а при открытом канале выпускается в камеру И, создавая в ней дополнительный импульс давления.

Опорожнение камер Г, Д и Е осуществляется через канал К выпуска.

Под действием разности силовых импульсов давления со стороны камер Г и И ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 5.

Рассматриваемое техническое решение позволяет выполнить стенки цилиндра бесканальными, чем уменьшить его массу, что целесообразно для ручных машин ударного действия. Канал частичного вытеснения при взаимодействии с ударником снижает противодействие воздуха со стороны торца, обращенного в камеру рабочего хода, уменьшая отрицательное влияние силы отдачи и вибрации. Влияние воздуха, поступающего из камеры форсажа при приобретенном ускорении, положительно сказывается на приращении скорости ударника.

Обозначения, допущения и ограничения к физико-математическому описанию рабочего процесса синтезированных механизмов:

$V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$ – объемы предкамеры, форсажа, холостого и рабочего хода;

$p_{\text{п}}, p_{\text{фр}}, p_{\text{х}}, p_{\text{р}}$ – давление воздуха в камерах с объемом $V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$;

$p_{\text{с}}, p_{\text{а}}$ – давление воздуха в сети и атмосфере;

$\varphi_{\text{п}}, \varphi_{\text{фр}}, \varphi_{\text{х}}, \varphi_{\text{р}}$ – коэффициенты бародинамического процесса в камерах с объемом $V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$;

$\theta_{\text{п}}, \theta_{\text{фр}}, \theta_{\text{х}}, \theta_{\text{р}}$ – температура воздуха в камерах с объемом $V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$;

$\theta_{\text{с}}, \theta_{\text{а}}$ – температура воздуха в сети и атмосфере;

$\Omega_{\text{п}}, \Omega_{\text{фр}}, \Omega_{\text{х}}, \Omega_{\text{р}}$ – коэффициенты термодинамического процесса в камерах с объемом $V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$;

$\omega_{\text{п}}, \omega_{\text{фр}}, \omega_{\text{х}}, \omega_{\text{р}}, \omega_{\text{хт}}, \omega_{\text{ах}}, \omega_{\text{ар}}$ – площади геометрических сечений каналов впуска в камеры с объемом $V_{\text{п}}, V_{\text{фр}}, V_{\text{х}}, V_{\text{р}}$ и выпуска из камеры холостого и рабочего хода;

$\varphi_{\text{рф}}, \varphi_{\text{хт}}, \varphi_{\text{ах}}, \varphi_{\text{ар}}$ – коэффициенты бародинамического процесса в каналах с геометрическим сечением $\omega_{\text{рф}}, \omega_{\text{хт}}, \omega_{\text{ах}}, \omega_{\text{ар}}$;

$\Omega_{\text{рф}}, \Omega_{\text{хт}}, \Omega_{\text{ах}}, \Omega_{\text{ар}}$ – коэффициенты термодинамического процесса в каналах с геометрическим сечением $\omega_{\text{рф}}, \omega_{\text{хт}}, \omega_{\text{ах}}, \omega_{\text{ар}}$;

$\omega_{\text{в}}$ – площадь геометрического сечения канала частичного вытеснения;

$\varphi_{\text{в}}$ – коэффициент бародинамического процесса для $\omega_{\text{в}}$;

$\Omega_{\text{в}}$ – коэффициент термодинамического процесса для $\omega_{\text{в}}$;

$m_{\text{у}}, m_{\text{к}}$ – массы ударника и корпуса;

$x_{\text{у}}, x_{\text{к}}$ – перемещение ударника и корпуса;

$S_{\text{у}}$ – рабочая площадь кольца торца ударника;

$F_{\text{н}}$ – усилие нажатия на корпус;

$W = (2Rk/(k-1))^{1/2}$, k, R – показатель процесса и газовая постоянная;

$(dx_{\text{у}}/dt)_{\text{о}}, (dx_{\text{к}}/dt)_{\text{о}}$ – скорости отскока ударника и корпуса после соударения с хвостовиком и буртиком инструмента;

$(dx_{\text{у}}/dt)_{\text{у}}, (dx_{\text{к}}/dt)_{\text{у}}$ – скорости ударника и корпуса перед соударением с хвостовиком инструмента и корпуса с буртиком инструмента;

$k_{\text{у}}, k_{\text{к}}$ – коэффициенты отскока ударника и корпуса от хвостовика и буртика инструмента;

t, dt – время и его производная.

Для предварительных исследований качественных свойств синтезированных механизмов введем допущения:

трубка закреплена относительно крышки цилиндра;

масса трубки учтена в массе корпуса.

Ограничения для изменения давления воздуха учитываются бародинамическими коэффициентами φ_{ij} и φ_{ji} :

$$\varphi_{ji} \equiv \varphi_{ij} = \begin{cases} p_i \theta_i^{1/2} 0,2588 & \text{при } p_i / p_j > 0,5283, \\ p_i \theta_i^{1/2} ((p_i / p_j)^{2/k} - (p_i / p_j)^{k/(k+1)})^{1/2} & \text{при } p_i / p_j \geq 0,5283, \\ -p_j \theta_j^{1/2} 0,2588 & \text{при } p_j / p_i < 0,5283, \\ -p_j \theta_j^{1/2} ((p_j / p_i)^{2/k} - (p_j / p_i)^{k/(k+1)})^{1/2} & \text{при } p_j / p_i \geq 0,5283. \end{cases} \quad (1)$$

Ограничения для изменения температуры воздуха учитываются термодинамическими коэффициентами Ω_{ij} и Ω_{ji} в зависимости от φ_{ij} и φ_{ji} :

$$\Omega_{ji} \equiv \Omega_{ij} = \begin{cases} k - (\theta_i / \theta_j) & \text{при } \varphi_{ij} > 0, \\ k - 1 & \text{при } \varphi_{ij} \leq 0, \\ k - (\theta_j / \theta_i), & \text{при } \varphi_{ji} > 0, \\ k - 1 & \text{при } \varphi_{ji} \leq 0. \end{cases} \quad (2)$$

Ограничения для перемещения ударника при $x_y \leq 0$ и $x_k \leq 0$:

$$(dx_y/dt)_o = -k_y(dx_y/dt)_y \quad \text{и} \quad (dx_k/dt)_o = -k_k(dx_k/dt)_y. \quad (3)$$

Уравнения бародинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1 и 2 совпадают и записываются в виде:

$$dp_{\Pi}/dt = k[W(\omega_{\Pi}\varphi_{\Pi} - \omega_{\text{фр}}\varphi_{\text{фр}} - \omega_{\text{рт}}\varphi_{\text{рт}} - \omega_{\text{хт}}\varphi_{\text{хт}})]/V_{\Pi}, \quad (4)$$

$$dp_{\text{фр}}/dt = k[W(\omega_{\text{фр}}\varphi_{\text{фр}} - \omega_{\text{рф}}(x_y)\varphi_{\text{рф}})]/V_{\text{фр}}, \quad (5)$$

$$dp_x/dt = k[W(\omega_{\text{хт}}\varphi_{\text{хт}} - \omega_{\text{ак}}(x_y)\varphi_{\text{ак}}) - p_x(dx_y/dt)S_y]/(V_x + x_yS_y), \quad (6)$$

$$dp_p/dt = k[W(\omega_{\text{рт}}\varphi_{\text{рт}} + \omega_{\text{рф}}(x_y)\varphi_{\text{рф}} - \omega_{\text{в}}(x_y)\varphi_{\text{в}} - \omega_{\text{ар}}(x_y)\varphi_{\text{ар}}) + p_p(dx_y/dt)S_y]/(V_p - x_yS_y). \quad (7)$$

Ограничения для p_{ij} и p_{ji} по условию (1).

Уравнения термодинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1 и 2 совпадают и записываются в виде:

$$d\theta_{\Pi}/dt = \theta_{\Pi}[W(\omega_{\Pi}\varphi_{\Pi}\Omega_{\Pi} - \omega_{\text{фр}}\varphi_{\text{фр}}\Omega_{\text{фр}} - \omega_{\text{рт}}\varphi_{\text{рт}}\Omega_{\text{рт}} - \omega_{\text{хт}}\varphi_{\text{хт}}\Omega_{\text{хт}})]/p_{\Pi}V_{\Pi}, \quad (8)$$

$$d\theta_{\text{фр}}/dt = \theta_{\text{фр}}[W(\omega_{\text{фр}}\varphi_{\text{фр}}\Omega_{\text{фр}} - \omega_{\text{рф}}(x_y)\varphi_{\text{рф}}\Omega_{\text{рф}})]/p_{\text{фр}}V_{\text{фр}}, \quad (9)$$

$$d\theta_x/dt = \theta_x[W(\omega_{\text{хт}}\varphi_{\text{хт}}\Omega_{\text{хт}} - \omega_{\text{ак}}(x_y)\varphi_{\text{ак}}\Omega_{\text{ак}}) - (k-1)p_x(dx_y/dt)S_y]/p_x(V_x + x_yS_y), \quad (10)$$

$$d\theta_p/dt = \theta_p[W(\omega_{\text{рт}}\varphi_{\text{рт}}\Omega_{\text{рт}} + \omega_{\text{рф}}(x_y)\varphi_{\text{рф}}\Omega_{\text{рф}} - \omega_{\text{в}}(x_y)\varphi_{\text{в}}\Omega_{\text{в}}) - \omega_{\text{ар}}\varphi_{\text{ар}}\Omega_{\text{ар}}) + (k-1)p_p(dx_y/dt)S_y]/p_p(V_p - x_yS_y). \quad (11)$$

Ограничения для Ω_{ij} и Ω_{ji} по условию (2).

Уравнения баромеханической составляющей рабочего процесса ДПУМ для принципиальных схем на рис. 1 и 2 совпадают и записываются в виде:

$$d^2x_y/dt^2 = ((p_x - p_p) S_y)/m_y \quad \text{при } x_y > 0, \quad (12)$$

$$d^2x_k/dt^2 = ((p_x - p_p) S_y + F_n)/m_k \quad \text{при } x_k > 0. \quad (13)$$

Ограничения $x_y \leq 0$ и $x_k \leq 0$ по уравнениям (3).

Незначительные конструктивные изменения: исключение кольцевого канала дросселя впуска из предкамеры с объемом V_{Π} в объем камеры рабочего хода V_p ; выполнение канала дросселя ω_p впуска воздуха из сети в камеру с объемом V_{Π} – интенсифицируют процесс наполнения камер V_{Π} , $V_{\text{фр}}$ и V_x воздухом, что позволяет повысить давление и энергетические параметры формируемых в них силовых импульсов.

При этом изменяются уравнения физико-математического описания рабочего процесса ДПУМ: в уравнениях (7) и (11) для (dp_p/dt) и $(d\theta_p/dt)$ ком-

бинации с $\omega_{рт}(\dots)$ заменяются комбинациями с $\omega_p(\dots)$; в уравнениях (14) и (15) для $(dp_{п}/dt)$ и $(d\theta_{п}/dt)$ исключаются комбинации с $\omega_{рт}(\dots)$.

Запишем указанные изменения:

$$dp_{п}/dt = k[W(\omega_{п}\Phi_{п} - \omega_{фр}\Phi_{фр} - \omega_{хт}\Phi_{хт})]/V_{п}, \quad (14)$$

$$d\theta_{п}/dt = \theta_{п}[W(\omega_{п}\Phi_{п}\Omega_{п} - \omega_{фр}\Phi_{фр}\Omega_{фр} - \omega_{хт}\Phi_{хт}\Omega_{хт})]/p_{п}V_{п}, \quad (15)$$

$$dp_p/dt = k[W(\omega_p\Phi_p + \omega_{рф}(x_y)\Phi_{рф} - \omega_b(x_y)\Phi_b - \omega_{ар}(x_y)\Phi_{ар}) + p_p(dx_y/dt)S_y]/(V_p - x_yS_y). \quad (16)$$

$$d\theta_p/dt = \theta_p[W(\omega_p\Phi_p\Omega_p + \omega_{рф}(x_y)\Phi_{рф}\Omega_{рф}) - \omega_b(x_y)\Phi_b\Omega_b - \omega_{ар}(x_y)\Phi_{ар}\Omega_{ар} + (k-1)p_p(dx_y/dt)S_y]/p_p(V_p - x_yS_y). \quad (17)$$

Заметим, что при постоянстве геометрических размеров всех признаков-элементов [1, 2], для качественной оценки конструкции ДПУМ, рассматриваемых в данной работе, уравнения (12) и (13) можно опускать.

Также можно опускать при качественном сравнении ДПУМ уравнения (8)–(11) для $(d\theta_i/dt)$, поскольку они сопоставимы с (4)–(7) для (dp_i/dt) , что является достаточным.

Существенное значение при качественном сравнении будет иметь обеспечение допущения о равенстве у сравниваемых ДПУМ не только подобия, но и равенства влияния для соответствующих проходных сечений ω_i . Сложность при этом будет составлять уравнивание значений местных сопротивлений при различных коэффициентах расхода воздуха для разных признаков-элементов параметра ω_i .

Учитывая, что $V_{п} = \text{const}$ и $V_{фр} = \text{const}$ (хоростатические процессы) или $(V_i \neq x_yS_y) \neq \text{const}$ (хородинамические процессы) останутся подобными и близкими как качественно, так и количественно, так как $p_{п}$ близко по значению p_c . Отметим, что в выражениях (4) и (8) уравнения уменьшились на одну комбинацию, а в (4), (7) и (8), (11) произошла замена $\omega_{рт}(\dots)$ на $\omega_p(\dots)$.

Выводы. 1. Изменение или добавление, или исключение конструктивных признаков-элементов средств формирования силового импульса, выравнивание параметров воздуха и средств впуска существенно изменяют качественное течение рабочего процесса и его физико-математическое описание.

2. Уравнения бародинамической и термодинамической составляющей рабочего процесса ДПУМ содержат хородинамическую $(V_i \neq x_yS_y) \neq \text{const}$ и хоростатическую составляющую в виде $V_i = \text{const}$.

3. При подобной записи рабочего процесса предпочтительным следует считать выполнение конструктивного признака-элемента средств частичного вытеснения в виде канала-лыски как содержащего меньшее количество концентраторов напряжений в очертаниях по сравнению с каналом-пазом или винтовым каналом. Каналу-лыске свойственны меньшие местные сопротивления и большие значения коэффициентов расхода воздуха.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков Э.А., Абраменков Д.Э. Пневматические механизмы машин ударного действия: справ. пособие. Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1993. 430 с.
2. Кутумов А.А., Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А. Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов: моногр. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2008. 346 с.
3. Пат. РФ № 2301891. МПК E21C 37/00, B25D 9/14. Пневматическое устройство ударного действия с дроссельным воздухом распределением / Д.Э. Абраменков, Э.А. Абраменков, Н.С. Бых, В.А. Емельянов, В.Ю. Ильюченко, М.Н. Нозаренко, Ю.Э. Малышева; заявл. 11.07.2005; опубл. 27.06.2007, Бюл. № 18.

Романов Константин Николаевич, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Баттулга Гэндэн, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Тюменцев Евгений Юрьевич, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кварцхалая Тимур Рамазович, студ.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Гвоздев Владимир Алексеевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: vizo@sibstrin.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Абраменков Эдуард Александрович, д-р техн. наук, проф.;

E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 08.07.16

Romanov Konstantin Nikolaevich, Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Battulga Genden, Post-graduate Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Tyumentsev Evgeniy Yur'evich, Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Kvartskhalaya Timur Ramazovich, Student

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Gvozdev Vladimir Alexeevich, PhD, Ass. Professor; E-mail: vizo@sibstrin.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, DSc, Professor;

E-mail: abramenkovde@sgups.stu.ru

Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

THROTTLE PNEUMOSHOCK MECHANISM WITH PARTIAL DISPLACEMENT OF AIR FROM THE CHAMBER OF THE STROKE THROUGH THE TUBE

Considered synthesized pneumatic impact mechanisms and applications of signs-elements of partial displacement in the form of a tube and discuss the characteristics of workflow with the use of the physico-mathematical description.

Key words: air inlet tube, the channel-groove, channel-flatted, throttle intake, luggage, synthesis, mechanism.

REFERENCES

1. Abramenkov E.A., Abramenkov D.E. Pnevmaticheskie mekhanizmy mashin udarnogo deystviya: spravochnoe posobie [Pneumatic mechanisms of machines of shock action: throttle, jet, unspool, valveless. Reference manual]. Novosibirsk: Publishing house NSU, 1993. 430 p. (in Russian)
2. Kutumov A.A., Abramenkov D.E., Abramenkov E.A. Navesnye pnevmaticheskie moloty dlya razrabotki merzlykh gruntov: monografiya [Hinged pneumatic hammers for development of frozen soil: monograph]. Novosibirsk, NSUACE (Sibstrin), 2008. 346 p. (in Russian)
3. Pat. RU No. 2301891. IPC E21C 37/00, B25D 9/14. Pnevmaticheskoe ustroystvo udarnogo deystviya s drossel'nyim vozdukhoraspredeleniem [A pneumatic device of shock action with throttle air distribution] D.E. Abramenkov, E.A. Abramenkov, N.S. Bith, V.A. Emel'yanov, V.Yu. Il'yuchenko, M.N. Nozarenko, Yu.E. Malysheva; zayavl. 11.07.2005; opubl. 27.06.2007, Bull. No. 18. (in Russian)

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ



УДК 711.4.001

Е.П. МЕНЬШИКОВА

НАУКИ, ОБСЛУЖИВАЮЩИЕ СЛОЖНЕЙШУЮ МОДЕЛЬ ОБЩЕСТВА – ГОРОД

Исторически сложилось в мире и в России, что ведущими профессионалами проектирования города, его застройки и регулирования развития были и остаются архитекторы. Однако усложняющиеся технологии, человеческие отношения, глобализация и другие мировые и локальные процессы требуют дополнительных знаний и иного подхода к организации современных городов, особенно к их планировке, застройке, т.е. к среде обитания человека.

К л ю ч е в ы е с л о в а: наука, город, модель, градостроительство, управление, развитие.

Индустриальная и научно-техническая революции породили крупнейшие неуправляемые города и агломерации: в их развитие включилось множество отраслей, имеющих свои интересы, свои науки и часто свою политику в развитии города. Сегодня изучением развития городов и их систем заняты 23 отраслевые науки, число которых растет, а 12 отраслей деятельности и их науки равноправно и часто в своих интересах решают судьбы городов. Однако в градостроительной теории и практике они представлены как «факторы» при градостроительстве или вовсе не учитываются.

Ведущие науки о городе (традиционные – архитектура и строительные науки, а с 2007 г. – градостроительство) осуществляют *управление строительством* города, а не *городом как таковым со всеми его сложнейшими процессами и противоречиями*.

Прикладная по сути градостроительная наука, претендуя на комплексность формирования города, ограничилась лишь пространственной планировкой. Другие сферы деятельности и науки, детерминирующие развитие городов, выступают как «факторы»: экономический, социальный, экологический, географический и др. Став «факторами», они не вскрывают глубинные законы реального города как целостного объекта. Такая легитимация базовых наук о городе и городах указывает на отсутствие науки как таковой.

В научно-методическом центре градоведения ЦНИИП Минстроя РФ, пользуясь методами системного анализа и имитационного моделирования, исследовали:

- системы расселения и градосистемы всех народов СССР и новой России;
- науки о поселениях 28 стран-членов ЭКОСОС ООН, их управление и право;
- эволюцию развития России и стран ведущих цивилизаций и науки о городе.

На базе этого были разработаны:

- каркас целостного города и теории города в российской интерпретации;
- атлас «Расселение и градосистемы народов России в начале XXI столетия»;
- методология целеполагающей гуманистической деятельности России «Уникальность среды обитания народов России» [1];
- монография «Городское и агломерационное управление в России: состояние и что делать» [2];
- монография «Городское право в России, состояние и пути его формирования».

Данные исследования и разработки позволяют утверждать: в обширной тематике НИР современный российский город представлен архитектурно-градостроительной и строительной направленностью, а не как единое целое со всей совокупностью проблем. Другие отрасли, даже базовые важнейшие: городское хозяйство; городское управление; городское право; социология города; городская экономика и предпринимательство; стратегическое планирование градосистем; информатизация города и региона; восприятие (психология) городской среды и экология города – представлены в исследованиях градостроителей «факторно». Научные центры так называемых смежных наук к разработкам актуальных направлений в градостроительстве не привлекаются.

Согласно мировому опыту и принципам ООН (Декларация о городах и других населенных пунктах в новом тысячелетии (9 июня 2001 г.) Резолюция ГА ООН: A/RES/S-25/2), главными субъектами управления городами и градосистемами являются: горожане, власти и профессионалы. Они стремятся к равноправному участию в управлении. Для обеспечения этого участия часто переиздаются законы и подзаконные акты. Сформирована и апробирована на Всемирном форуме ООН Хабитат II 1996 г. объектная модель управления [3] (рис. 1). В этой триаде (горожане, власти, профессионалы) каждая составляющая имеет свое назначение.



Рис. 1. Модель 1 «Объекты управления городами и их системами»

В настоящей статье сосредоточим внимание на профессионалах.

Для развития городов нужны полноценные профессиональные действия, направленные на гармоничное развитие всех сторон жизни города. Архитектурно-градостроительной, научно-планировочной деятельности для полноценного функционирования городов недостаточно. Архитекторы пытаются своими силами вести иссле-

дования на стыке наук. Наибольшие результаты достигнуты в экологическом секторе, в социологических исследованиях городов. Однако архитектор не может заменить профессионала – социолога [4] или эколога, они должны работать в одной команде, ориентированной на гармоничное развитие города. Поэтому назрела острейшая необходимость в создании Академии градovedения и ее филиалов. Очевидна объективная потребность в таких специалистах в более тысячи городов страны. На уровне подготовки научных кадров уже сделан первый шаг: ЦНИИП Минстроя РФ принимает в аспирантуру молодых ученых – биологов, социологов, экономистов, инженеров транспорта и др., способных применить свои знания в градостроительной сфере. Но научная (уникальная) деятельность только готовит почву для массовых профессий. В модели 2 показаны базовые отрасли, которые востребованы городом (рис. 2). По каждой отрасли градovedения разработаны принципы и программные направления развития, а именно:

- в области экологии города сформулирована рабочая модель градoэкологического метаболизма агломерации;
- городское хозяйство идентифицировано на примере Москвы и опубликован учебник;
- впервые разработаны принципы городского управления и пути его становления в России;



Рис. 2. Модель 2 «Каркас градovedения, целеполагающей теории города и организации университетского образования»

– стратегическая программа градосистемы – сердцевина теории города. Мы использовали труды Афинского центра экистики и Католического университета в Лоувене, но сформировали свою методологию и организацию, присущую России;

– разработаны программные направления создания городского права и этнического права и их кодексов;

– разработаны принципы и пути информациологии города и региона, обоснованы пути создания их индикаторов.

Основой разработки теории города и путей перехода от градостроительства к градоведению явились 53-летние исследования реальных градосистем народов России и процессов их развития. Отобраны и включены в каркас теории города труды России и мира, содержащие разработки, отвечающие критериям теории города. К созданию университетов разработаны: Образовательная программа градоведения и программы восьми базовых городских специальностей, отсутствующих в российском образовании.

Приведем аргументы в пользу внедрения некоторых из указанных в модели специальностей. В проектах уже давно (согласно Постановлению Правительства от 16 февраля 2008 г. № 87) обязательны разделы: мероприятия по охране окружающей среды; мероприятия по обеспечению доступа инвалидов, однако эти разделы выполняют «самоучки». Что касается инвалидов, то пространственные мероприятия по оформлению городской среды важно решать параллельно с **социальными** программами города: создание рабочих мест, организация специальных мероприятий для маломобильных и многое другое, что архитекторы в рамках своей профессии не делают и не должны делать.

Составной частью генпланов городов являются социально-экономические показатели, но они сводятся к экономическим. Очевидно, что количество «социальных» объектов – не есть **социальная** политика города, а для формирования таковой требуются специальные программы, опросы и другие профессиональные социологические приемы. Городские власти составляют прогнозы развития своих городов, однако программы определяют чиновники, не имеющие для этого профессиональной подготовки и соответственно качество этих решений оставляет желать лучшего.

В научных кругах сложилось направление *социология города* под руководством доктора социологических наук А.В. Тихонова [5] (Центр социологии управления и социальных технологий Института социологии РАН). Однако ученые выполняют различные функции, а городу нужен специалист, нацеленный на оптимизацию социальных процессов поселения в целом.

Что касается **экологии города**, то она вошла в градостроительство, но только лишь разделом охрана окружающей среды, а не ≈12 ее подсистемами, основанными на фундаментальных науках: геология; биосфера; биология; климатология; инсоляция; эквосприятие.

Проведенные в ЦНИИП градостроительства исследования показали, что в градосистемах с плотностью населения более 1000 чел. на 1 км² фауна утрачивает свое естественное развитие и нуждается в специальном уходе, ибо это уже сугубо искусственная среда обитания современных городов, их агломераций и конурбаций. Выполненный в рамках исследований атлас – первая попытка переоценки плотности расселения на феде-

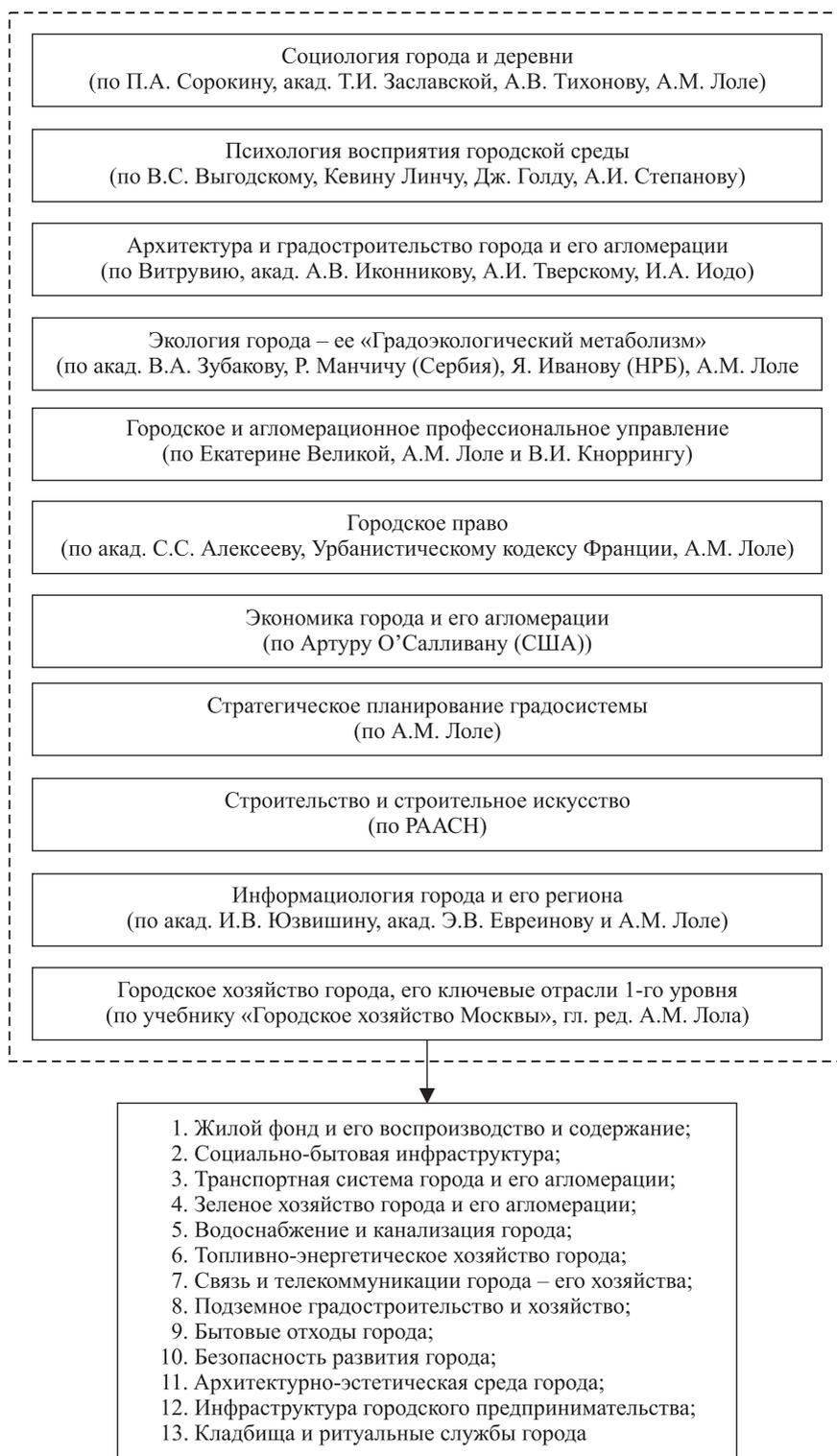


Рис. 3. Модель 3 «Российский город как целостность в фундаментальной науке – градovedение»

ральном, региональном и локальном уровнях, на основе анализа реальных градосистем: крупногородских агломераций, конурбаций и мегалополисов.

Результаты показывают негативные выводы:

– уплотнение застройки поселений в подражание Москве и вопреки территориальному потенциалу России;

– отсутствие обоснованных экологических требований в каждой градосистеме и ее регионе;

– неизученность в них процессов так называемого градоэкологического метаболизма;

– отсутствие разработок Стратегического развития России, ключевой основой которой должна стать «Программа расселения народов и развития городов».

Опыт выполнения таких работ указывает на необходимость участия в них межотраслевых специалистов, знающих и экологическую, и расселенческую составляющие. Экологов-биологов не интересуют проблемы расселения, а градостроители не могут заменить экологов и других специалистов.

На практике экологические разделы в генпланах выполняют люди, освоившие «правила» решения проектных задач инициативно, самостоятельно, без специального обучения.

Градостроительство, городское управление, рождающееся агломерационное управление [2]; этнические процессы и проблемы; подготовка кадров [6], ставшая повседневной проблемой Правительства, требуют ответа на вопросы:

– где границы города;

– его целостность как объекта и предмета множества сфер деятельности;

– город как объект управления и права?

Ответы на эти проблемы кроются в научной модели целостного российского города [7] (рис. 3). Городское хозяйство осмыслено профессионалами ассоциации «Экология города». Итоги этой отрасли опубликованы в «ориентированном» учебнике «Городское хозяйство Москвы». Название отраслей и наук продиктовано требованиями управления, права и лицензирования. Генеральная модель признана Хабитат ООН. Универсальные принципы формирования города разработаны К. Доксиадисом [8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лола А.М. Доктрина развития городов и сел Российской Федерации. М.: Рус. яз., 2015. 88 с.
2. Лола А.М. Городское и агломерационное управление в России: состояние и что делать. М.: Канон+ РООИ «Реабилитация», 2013. 291 с.
3. Лола А.М. Города России нуждаются в отрасли – городское право // Градостроительство. 2010. № 4. С. 50–56; № 5. С. 83–88.
4. Лола А.М., Меньшикова Е.П., Лола У.А. Россия нуждается в науке «социология города и деревни» // Градостроительство. 2015. № 5. С. 61–62.
5. Тихонов А.В. Социология управления. М.: Канон+РООИ «Реабилитация», 2007. 472 с.
6. Кудрявцев А.П., Здобнов Ю.А., Шевченко Э.А. Проблемы территориального планирования и кадровое обеспечение современного градостроительства России // ACADEMIA. 2007. № 2. С. 3–12.

7. Л о л а А.М. Основы градovedения и теории города в российской интерпретации. М.: URSS, 2005. 350 с.
8. D o x i a d i s С.А. Ecology and Ekistics. London. 1977. 91 p.

Меньшикова Елена Павловна, канд. архитектуры, ст. науч. сотрудник; E-mail: arhmer@mail.ru
ЦНИИП Минстроя России, г. Москва

Получено после доработки 21.07.16

Menshikova Elena Pavlovna, PhD, Senior Research; E-mail: arhmer@mail.ru
TSNIIP of Ministry of Construction of the RF, Moscow, Russia

SCIENCE SERVING THE MOST COMPLEX MODEL OF SOCIETY – THE CITY

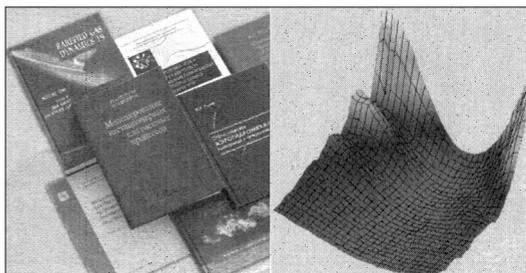
Historically in the world and in Russia, the leading city of design professionals, its development and regulation of development, have been and remain the architects. However increasingly complex technology, human relations, globalization, and others. Global and local processes require additional knowledge and a different approach to the organization of modern cities particularly their planning, building, ie to the human environment.

Key words: science, city, model, urban planning, management, development.

REFERENCES

1. L o l a А.М. Doktrina razvitiya gorodov i sel Rossiyskoy Federatsii [The doctrine of the towns and villages of the Russian Federation]. Moscow, 2015. 88 p. (in Russian)
2. L o l a А.М. Gorodskoe i aglomeratsionnoe upravlenie v Rossii: sostoyanie i chto delat' [Urban and agglomeration management in Russia: status and what to do]. Moscow, Canon+, ROOI «Rehabilitation», 2013. 291 p. (in Russian)
3. L o l a А.М. Goroda Rossii nushdayutsya v otrasli – gorodskoe pravo [Russian cities need industry – city law]. Gradostroitel'stvo [Urban Planning]. 2010. No. 4. Pp. 50–56; No. 5. Pp. 83–88 (in Russian)
4. L o l a А.М., M e n s h i k o v a Е.Р., L o l a U.А. Rossiya nushdaetsya v nauke «sotsiologiya goroda i derevni» [Sociology cities and villages It needs to revive in the new Russia]. Gradostroitel'stvo [Urban Planning]. 2015. No. 5. Pp. 61–62. (in Russian)
5. T i k h o n o v А.В. Sotsiologiya upravleniya [Sociology of management]. Moscow, Kanon+ROOI «Rehabilitation», 2007. 472 p. (in Russian)
6. K u d r y a v t s e v А.Р., Z d o b n j v Y u.А., S h e v c h e n k o Е.А. Problemy territorial'nogo planirovaniya i kadrovoe obespechenie sovremennogo gradostroitel'stva Rossii [Problems of spatial planning and staffing of the modern urban Russia]. ACADEMIA. 2007. No. 2. Pp. 3–12. (in Russian)
7. L o l a А.М. Osnovy gradovedeniya i teorii goroda v rossiyskoy interpretatsii [The basics of graduatee and theory of the city in Russian interpretation]. Moscow, URSS, 2005. 350 p. (in Russian)
8. D o x i a d i s С.А. Ecology and Ekistics. London, Elek, 1977. 91 p.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ



УДК 625.084.001.24

В.В. ДУБКОВ, А.М. БАЗИНСКАЯ

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ОСЦИЛЛЯТОРНО-ВИБРАЦИОННОГО МЕХАНИЗМА ДОРОЖНОГО КАТКА

Рассмотрен валец осцилляторно-вибрационного катка с тремя дебалансными валами. Изучены вопросы взаимодействия двух возмущающих сил, создаваемых дебалансными валами вальца. Определена зависимость массы и радиуса центрального дебаланса осцилляторного катка от массы и радиуса его боковых дебалансов. Исследован вопрос взаимного расположения дебалансов в начальный момент времени.

Ключевые слова: уплотнение дорожно-строительных материалов, осцилляторные, вибрационные катки, дебалансные валы, масса дебаланса, радиус дебаланса.

Введение. Надежность и долговечность асфальтобетонного покрытия, а также любого другого дорожного покрытия напрямую связана с уплотнением. Уплотнение может производиться различными катками: статистического, вибрационного, вибрационно-статистического и осцилляторного действия. Каждый вид катка для уплотнения имеет свои преимущества и недостатки. В данной статье рассмотрен механизм осцилляторно-вибрационного катка.

Принцип работы осцилляторного катка состоит в уплотнении материала вращательными колебаниями вальца вокруг собственной оси за счет повторяющихся реверсивных сдвиговых деформаций материала при одновременном и, что очень важно, постоянном действии вертикальной нагрузки от силы веса катка. Внутри катящегося вальца катка находится пара синхронно вращающихся дебалансных валов, которые расположены оппозитно на определенном плече от оси вальца со сдвинутыми на 180° эксцентриковыми массами, что позволяет создавать на вальце катка изменяющийся во времени и по направлению крутящий момент, обеспечивающий его малые вращательные колебания – осцилляции.

Расчет параметров осцилляторно-вибрационного катка. Рассмотрим валец осцилляторно-вибрационного катка, который состоит из трех деба-

лансных валов. Два боковых дебаланса смещены от оси вращения вальца в противоположные стороны. Третий центральный вибровозбудитель колебаний установлен соосно с валцом катка. При этом его дебалансные массы смещены под определенным углом по отношению к боковым вибровозбудителям. Данная схема вибрационного механизма показана в работах [1–3]. Такая схема расположения дебалансных валов дает определенное преимущество. Совместное действие на валец осциляторно-вибрационного катка двух возмущающих сил, возникающих при одновременном вращении трех валов с дебалансами, оказывает сминающее и сдвигающее воздействие на уплотняемый материал. Вертикальные и сдвигающие деформации, которые возникают в данном процессе, будут обеспечивать большую эффективность уплотнения при определенной частоте вращения дебалансных валов и их взаимном расположении [1, 4].

Взаимное расположение вибровозбудителей вальца в начальный момент времени и возмущающие силы, действующие на уплотняемый материал, показаны на рис. 1.

Возмущающая сила Q , которая создается тремя дебалансами, равна сумме горизонтальной силы P_1 , вызываемой боковым дебалансом, и вертикальной силы F , создаваемой центральным дебалансом и весом катка:

$$Q = P_1 \sin \omega_6 + F \sin \omega_{ц}. \quad (1)$$

Эффективность уплотнения материала вальцом осциляторного катка зависит от сцепления рабочего органа с уплотняемым материалом, т. е. должно выполняться условие, связанное с возможностью преодоления вальцом сопротивления материала сдвигу и с исключением или сведением к минимуму бесполезной его вращательной пробуксовки (проскальзывания), которая нежелательна из-за снижения уплотняющей эффективности и возможного износа его поверхности за счет абразивного истирания [5]. Это важное условие, которое выражается через моменты действующих сил на вальце относительно его оси, рассмотрено в работах М.П. Костельова [6, 7]. Данное условие выглядит так:

$$M_0 \sin \omega t \geq M_w \leq M_T, \quad (2)$$

где M_w – момент силы сопротивления материала сдвигу относительно оси вальца, Н · м;

M_T – момент силы трения относительно оси вальца, Н · м;

M_0 – момент, создаваемый боковыми дебалансами, Н · м.

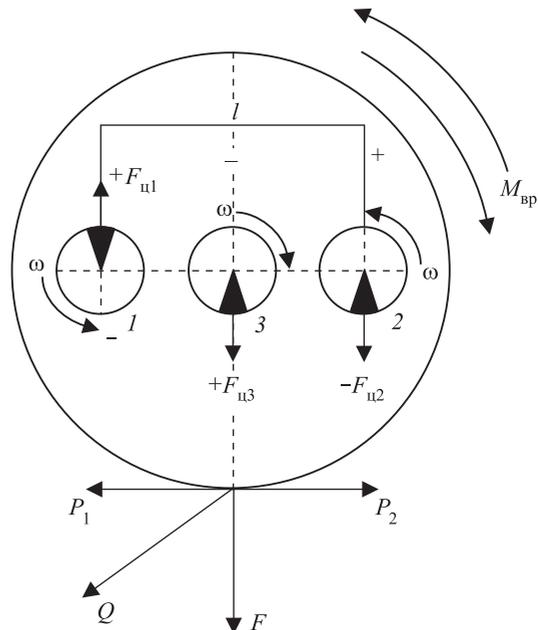


Рис. 1. Схема воздействия осциляторно-вибрационного вальца катка на уплотняемый материал

Момент силы сопротивления материала сдвигу относительно оси вальца приравнивается к моменту силы сцепления вальца с уплотняемым материалом. Момент силы сцепления вальца с уплотняемым материалом можно определить по формуле:

$$M_{\text{сц}} = T_{\text{сц}} R, \quad (3)$$

где $T_{\text{сц}}$ – сила сцепления материала с рабочим органом катка, Н;
 R – радиус вальца, м.

Силу сцепления вальца с покрытием найдем по формуле:

$$T_{\text{сц}} = Q_{\text{сц}} \varphi_{\text{сц}}, \quad (4)$$

где $Q_{\text{сц}}$ – сцепной вес катка, т. е. сила тяжести, приходящаяся на ведущие вальцы катка, кН;

$\varphi_{\text{сц}}$ – коэффициент сцепления вальца с материалом уплотняемой поверхности [8].

Сцепной вес зависит от технических параметров катка, от вертикальной силы F и определяется выражением

$$Q_{\text{сц}} = m_{\text{в.в}} g + F, \quad (5)$$

где $m_{\text{в.в}}$ – масса катка, приходящаяся на ведущий валец, кг;

g – ускорение свободного падения, равное $9,81 \text{ м/с}^2$.

Используя формулы (2)–(5), запишем окончательную формулу для определения момента силы сцепления вальца с уплотняемой поверхностью

$$M_{\text{сц}} = (m_{\text{в.в}} g + F) \varphi_{\text{сц}} R. \quad (6)$$

Момент крутящих колебаний от двух дебалансных валов равен:

$$M_{\text{вр}} = P l, \quad (7)$$

где l – расстояние между осями дебалансных валов, м;

P – возмущающая сила, создаваемая боковым дебалансным валом, Н.

Возмущающая сила, создаваемая боковым дебалансным валом, зависит от геометрических размеров и массы дебаланса и угловой скорости вращения вала. Определяется она по формуле:

$$P = m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 \sin \omega_{\delta} t, \quad (8)$$

где m_{δ} – масса бокового эксцентриситета, кг;

r_{δ} – радиус бокового дебаланса, м;

ω_{δ} – угловая скорость бокового дебаланса, об/мин.

М.П. Костельов [6] приводит значения частот крутильных колебаний, при которых идет наиболее эффективное уплотнение асфальтобетона. Данные частоты равны 60–80 Гц.

Угловая скорость связана с частотой колебаний через следующую зависимость:

$$\omega = \frac{\pi n}{30}, \quad (9)$$

где n – частота вращения, Гц.

Используя формулы (7)–(9), выведем окончательную формулу определения крутящего момента, создаваемого дебалансными валами катка

$$M_{\text{вп}} = m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l \sin \omega_{\delta} t. \quad (10)$$

Запишем условие (2) таким образом:

$$M_{\text{вп}} \sin \omega t \geq M_{\text{сц}}.$$

Вертикальную силу F , создаваемую центральным дебалансным валом, находим по формуле

$$F = m_{\text{ц}} r_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2 \sin \omega_{\text{ц}} t, \quad (11)$$

где $m_{\text{ц}}$ – масса центрального эксцентриситета, кг;

$r_{\text{ц}}$ – радиус центрального дебаланса, м;

$\omega_{\text{ц}}$ – угловая скорость центрального дебаланса, об/мин.

Далее приравняем правые части уравнений (6) и (10):

$$(m_{\text{в.в}} g + F) \varphi_{\text{сц}} R = m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l \sin \omega_{\delta} t,$$

$$(m_{\text{в.в}} g + m_{\text{ц}} r_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2) \varphi_{\text{сц}} R = m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l \sin \omega_{\delta} t.$$

Из полученных уравнений выразим массу и радиус дебаланса центрального вала

$$r_{\text{ц}} = \left(\frac{m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l}{\varphi_{\text{сц}} R} - m_{\text{в.в}} g \right) / m_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2, \quad (12)$$

$$m_{\text{ц}} = \left(\frac{m_{\delta} r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l}{\varphi_{\text{сц}} R} - m_{\text{в.в}} g \right) / r_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2. \quad (13)$$

Таким же образом получим выражения для определения массы и радиуса дебалансов боковых валов при известных параметрах центрального дебалансного вала:

$$m_{\delta} = \frac{(m_{\text{в.в}} g + m_{\text{ц}} r_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2) \varphi_{\text{сц}} R}{r_{\delta} \omega_{\delta}^2 l \sin \omega_{\delta} t}, \quad (14)$$

$$r_{\delta} = \frac{(m_{\text{в.в}} g + m_{\text{ц}} r_{\text{ц}} \omega_{\text{ц}}^2) \varphi_{\text{сц}} R}{m_{\delta} \omega_{\delta}^2 l \sin \omega_{\delta} t}. \quad (15)$$

Расчетные формулы показывают зависимость радиуса и массы боковых дебалансов и центрального друг от друга и в зависимости от массы вальца, частоты вращения боковых дебалансных валов, вертикальной силы, действующей на валец, и расстояния между осями дебалансных валов. На рис. 2 показана зависи-

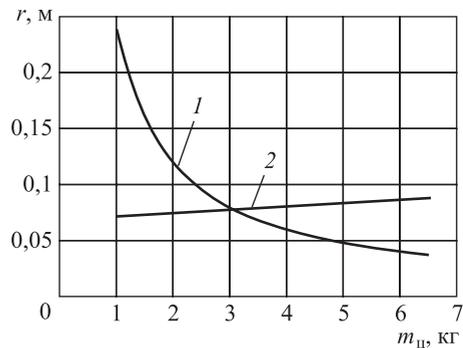


Рис. 2. График зависимости радиусов бокового и центрального дебалансов вальца вибрационно-осциляторного катка от массы центрального дебаланса 1 – радиус центрального дебаланса; 2 – радиус бокового дебаланса

мость радиусов бокового и центрального дебалансов от массы центрального дебаланса.

Рассмотрим схему воздействия осцилляторно-вибрационного вальца катка на уплотняемый материал (см. рис. 1): дебалансный вал 3 воздействует на уплотняемый материал в направлении, перпендикулярном к уплотняемой поверхности. Осцилляторные импульсы, создаваемые дебалансными валами 1 и 2, действуют, главным образом, в горизонтальной плоскости P_1, P_2 .

Чтобы обеспечить максимальное воздействие вынуждающих сил на покрытие, необходимо установить четкое взаимное расположение дебалансных валов относительно друг друга. Для этого графически покажем воздействие круговых и крутильных колебаний вальца катка на уплотняемую поверхность.

Чтобы построить графическое изображение, зададим основные параметры катка:

- Радиус вальца $R = 0,5$ м
- Расстояние между осями дебалансных валов $l = 0,6$ м
- Частоты вращения боковых дебалансных валов $n_б = 60$ Гц
- Частота вращения центрального дебалансного вала $n_ц = 120$ Гц
- Масса ведущего вальца катка с пригрузом $m_{в.в} = 2000$ кг
- Коэффициент сцепления вальца с асфальтобетоном $\varphi = 0,06$
- Масса бокового дебаланса $m_б = 4$ кг
- Масса центрального дебаланса $m_ц = 4$ кг
- Радиус бокового дебаланса $r_б = 0,08$ м

Задав три параметра дебалансов: $m_б, m_ц, r_б$, рассчитаем четвертый – $r_ц$, исходя из выведенной формулы (12):

$$r_ц = \left(\frac{4 \cdot 0,08 \cdot 60^2 \cdot 0,6}{0,06 \cdot 0,5} - 2000 \cdot 9,81 \right) / 4 \cdot 120^2 = 0,06 \text{ м.}$$

Используя формулы (8) и (11), построим зависимость горизонтальной силы P и вертикальной силы F , с учетом веса катка, от угла поворота центрального дебалансного вала (рис. 3). При этом примем условие, что угловая скорость центрального вала в 2 раза выше и направлена в противоположную сторону вращения боковым дебалансным валом.

Для того чтобы обеспечить непрерывную нагрузку на уплотняемый материал в момент максимальных крутильных колебаний, дебаланс центрального вала должен быть смещен относительно бокового на 180° . На рис. 4 показано взаимное воздействие круговых (F) и крутильных ($P_{1,2}$) колебаний на уплотняемый материал. В момент максимальных крутильных силовых импульсов создается максимальная загрузка вальца от вынуждающей силы, вызываемой центральным дебалансным валом и весом катка, что позволяет повысить эффективность уплотнения дорожно-строительных материалов. При этом необходимо условие, чтобы частота вращения центрального дебалансного вала была в 2 раза выше частоты вращения боковых дебалансных валов.

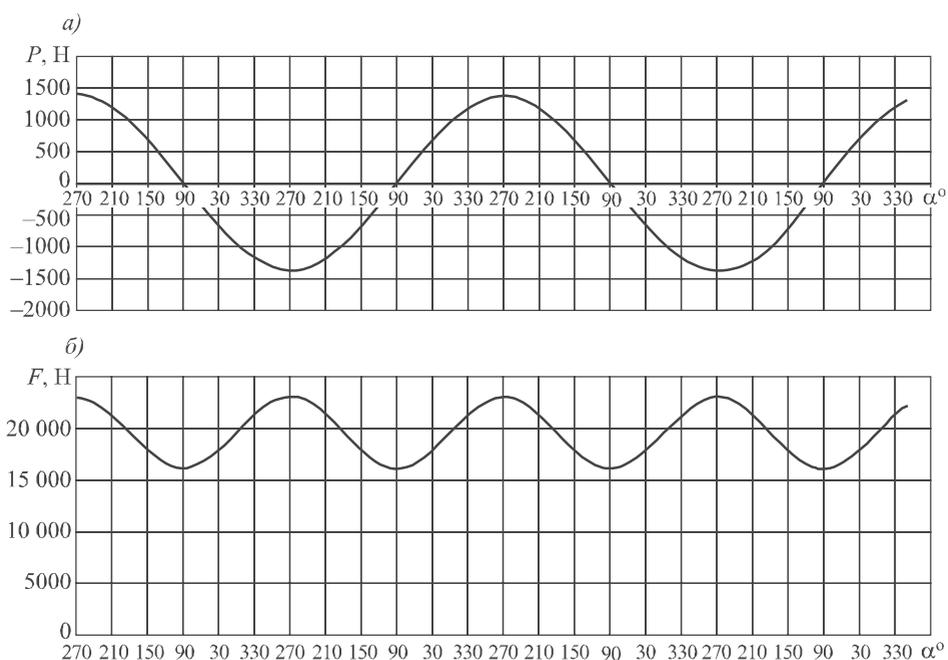


Рис. 3. Воздействие вынуждающей силы на уплотняемый материал, создаваемой боковыми (а) и центральным дебалансами (б)

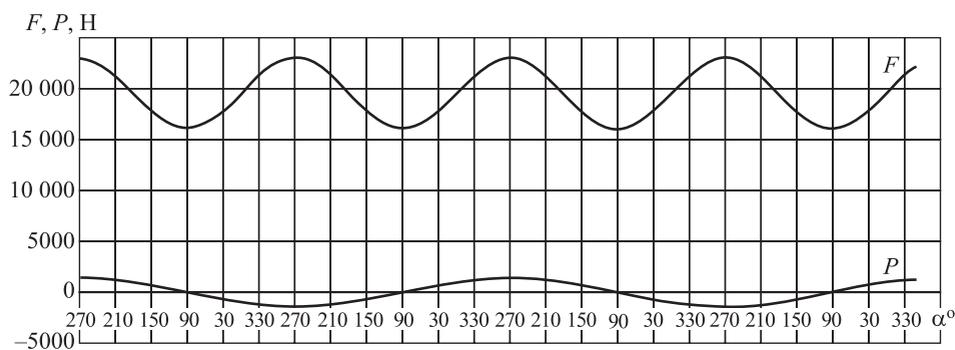


Рис. 4. Схема взаимного воздействия круговых (F) и крутильных ($P_{1,2}$) колебаний на уплотняемый материал

Заключение. Определены зависимости масс и радиусов центрального и боковых дебалансов осцилляторно-вибрационного механизма катка с учетом его веса и коэффициента сцепления с уплотняемой поверхностью. Установлено взаимное расположение центрального и боковых дебалансных валов и рациональное соотношение частот их вращения, позволяющее в момент максимальных крутильных силовых импульсов дать наибольшую загрузку вальца от вынуждающей силы, создаваемой центральным дебалансным валом и весом катка.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дубков В.В., Медведева К.А. Повышение эффективности уплотнения дорожно-строительных материалов осцилляторно-вибрационным катком // Техника и технологии строительства. 2015. Т. 1. С. 49–53.

2. Пат. 2079610 РФ. МПК6 E 02 F 5/12, E 01 C 19/28. Самоходный вибрационный каток с возбудителем комбинированного действия / М.Р. Буренюк, О.М. Карпов, А.А. Цуканов, В.Н. Григорук; Моск. высш. воен. дорож. инж. уч-ще. № 94033300/03; заявл. 14.09.1994; опубл. 20.05.1997. Бюл. № 14.
3. Пат. 121261 РФ. МПК E 01 C 19/28. Валец дорожного катка комбинированного действия / В.В. Дубков, В.С. Серебренников; СибАДИ. № 2012123883/03; заявл. 08.06.2012; опубл. 20.10.2012. Бюл. № 29.
4. Захаренко А.В. Управление вектором силового воздействия вальца дорожного катка // Строит. и дорож. машины. 2005. № 4. С. 40–43.
5. Захаренко А.В. Теоретические и экспериментальные исследования процессов уплотнения катками грунтов и асфальтобетонных смесей: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Омск, 2005. 44 с.
6. Костельов М.П. Новый способ уплотнения дорожно-строительных материалов // Автомоб. дороги. 1991. № 6. С.13–15.
7. Костельов М.П. Уплотнению асфальтобетона требуется обновленное поколение дорожных катков // Дорожная техника и технология: кат.-справ. СПб.: Славутич, 2003. С. 12–22.
8. Захаренко А.В. Определение коэффициента сцепления вальца дорожного катка с уплотняемым материалом // Строит. и дорож. машины. 2005. № 8. С. 30–31.

Дубков Валерий Витальевич, канд. техн. наук, доц.; E-mail: dubkovvv.74@mail.ru
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), г. Омск
Базинская Алёна Михайловна, магистр; E-mail: bazinskaya1993@bk.ru
Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ), г. Омск

Получено 27.06.16

Dubkov Valeriy Vital'evich, PhD, Ass. Professor; E-mail: dubkovvv.74@mail.ru
Siberian State Motor Roads Academy (SibADI), Omsk, Russia
Bazinskaya Alena Mikhaylovna, MSc; E-mail: bazinskaya1993@bk.ru
Siberian State Motor Roads Academy (SibADI), Omsk, Russia

ANALYTICAL PARAMETERS DETERMINATION OSCILLATOR-VIBRATING MECHANISM ROLLERS

This article describes the oscillatory drum vibratory roller, with three shafts debalanced. The questions of cooperation between the two perturbing forces created debalanced roller shafts. We define the county-dependence of the mass and radius of the central oscillatory unbalance rink on the mass and the radius of its lateral unbalance. The question of mutually-imnogo unbalance position at the initial time.

Key words: seal of road construction materials, oscillatory, vibratory rollers, shafts unbalance, unbalance mass, radius of the unbalance.

REFERENCES

1. Dubkov V.V., Medvedeva K.A. Povyshenie effektivnosti uplotneniya dorozhno-stroitel'nykh materialov ostsillyatorno-vibratsionnym katkom [Improved sealing of road-building mother fishing-oscillatory vibration roller]. Tekhnika i tekhnologii stroitel'stva [Engineering and construction technology]. 2015. T. 1. Pp. 49–53. (in Russian)
2. Pat. 2079610 RF. МПК6 E 02 F 5/12, E 01 C 19/28. Samokhodnyy vibratsionnyy katok s vozбудителем kombinirovannogo deystviya [Self-propelled vibratory roller with the combined action of the agent] / M.R. Burenyuk, O.M. Karpov, A.A. Tsukanov,

- V.N. Grigoruk; Moscow Higher Military Engineering School Road. No. 94033300/03; appl. 14.09.1994; publ. 20.05.1997. Bull. No. 14. (in Russian)
3. Pat. 121261 Russian Federation. IPC E 01 C 19/28. Valets dorozhnogo katka kombinirovannogo deystviya [Drum road roller combined the actiontions] / V.V. Dubkov, V.S. Serebrennikov; SibADI. No. 2012123883/03; appl. 08.06.2012; publ. 20.10.2012. Bull. No. 29. (in Russian)
 4. Zakharenko A.V. Upravlenie vektorom silovogo vozdeystviya val'tsa dorozhnogo katka [Control vector force action roller road roller]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny [Building and road machines]. 2005. No. 4. Pp. 40–43. (in Russian)
 5. Zakharenko A.V. Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya protsessov uplotneniya katkami gruntov i asfal'tobetonnykh smesey: avtoref. dis. doctora techn. nauk [Theoretical and experimental investigations of uplot-tion rollers soil and asphalt mixtures: DSc abstract]. Omsk, 2005. 44 p. (in Russian)
 6. Kostelyov M.P. Novyy sposob uplotneniya dorozhno-stroitel'nykh materialov [A new way of sealing of road-building materials]. Avtomobil'nye dorogi [Highways]. 1991. No. 6. Pp. 13–15. (in Russian)
 7. Kostelyov M.P. Uplotneniyu asfal'tobetona trebuetsya obnovlennoe pokolenie dorozhnykh katkov [Seal asphalt concrete requires an updated generation of up-rinks goad]. Dorozhnaya tekhnika i tekhnologiya [Road construction equipment, technologies and Gia]. Saint-Petersburg, 2003. Pp. 12–22. (in Russian)
 8. Zakharenko A.V. Opredelenie koeffitsienta stsepleniya val'tsa dorozhnogo katka s uplotnyaemym materialom [Determination of the coefficient of friction roller road roller with seal material]. Stroitel'nye i dorozhnye mashiny [Building and road machines]. 2005. No. 8. Pp. 30–31. (in Russian)
-

УДК 69.022:691.1:536.24

Р.А. НАЗИРОВ, Р.В. БАЖЕНОВ, Г.В. ИГНАТЬЕВ

**ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
В УГЛОВОМ СОПРЯЖЕНИИ СТЕН ИЗ БРУСА
С УЧЕТОМ ТЕПЛОВОЙ НЕОДНОРОДНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ**

В результате расчетов установлено влияние анизотропии теплопроводности древесины вдоль и поперек волокон на температуру в угловых сопряжениях стен из бруса. Рассмотрен и оптимизирован с помощью функции Харрингтона способ повышения температуры в угловых сопряжениях стен из бруса с использованием теплопроводной вставки.

Ключевые слова: высокотеплопроводный материал, анизотропия, тепловая однородность, угловое сопряжение, энергоэффективность.

Древесина является традиционным строительным материалом. Ее достоинства – малая плотность при сравнительно высокой прочности, низкая теплопроводность, простота обработки, высокие декоративные качества, распространенность, возобновляемость, экологичность и пр. Наряду с достоинствами древесине свойственны и недостатки, ограничивающие ее применение. К недостаткам относятся опасность загнивания, возгорания, естественные дефекты, неоднородность строения, усушка, коробление, ограничение габаритов пиломатериала в связи с особенностями используемого вида дерева и др.

Размеры пиломатериала хвойных пород регламентируются ГОСТ 8486–86. Максимальный размер квадратного бруса составляет 250 мм. Из опыта проектирования наибольший размер бруса, используемого на практике, равен 200 мм. Брус 250 мм поставляется только на заказ. Это связано с технологическими особенностями процесса распиловки и естественными размерами ствола хвойного дерева. В статье рассматривается угловое сопряжение стен из бруса 200 мм.

Благодаря особой макроструктуре древесина обладает анизотропией прочностных и теплофизических свойств. С целью определения влияния анизотропии теплопроводности древесины на объективность теплотехнических расчетов проведены численные и аналитические расчеты углового соединения стен из бруса с учетом анизотропии и без ее учета.

Расчеты проводились для жилого здания, предполагаемого к строительству в климатических условиях г. Красноярск. Соединение бруса в угловом сопряжении – «в дерево» (рис. 1).

Значения граничных расчетных условий (табл. 1) и характеристики материалов (табл. 2) приняты в соответствии с СП 131.13330.2012 и СП 50.13330.2012.

© Назиров Р.А., Баженов Р.В., Игнатъев Г.В., 2016

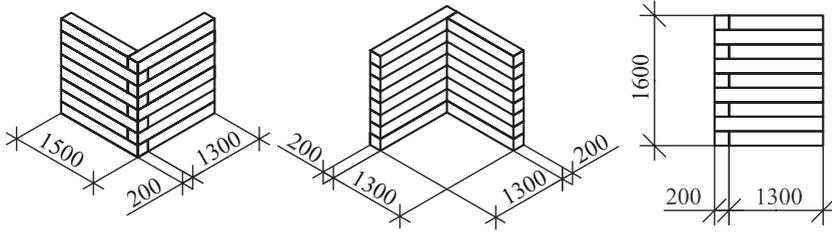


Рис. 1. Объемная модель соединения

Таблица 1. Граничные расчетные условия

№ п/п	Характеристика	Значение
1	Расчетная температура наружного воздуха, °C	-37,0
2	Расчетная температура внутреннего воздуха, °C	+20,0
3	Коэффициент теплоотдачи наружной поверхности стены, Вт/(м ² · °C)	8,7
4	Коэффициент теплоотдачи внутренней поверхности стены, Вт/(м ² · °C)	23,0

Таблица 2. Характеристика материалов

№ п/п	Материал	Обозначение	Плотность, кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м · °C)
1	Сосна и ель поперек волокон		500	0,14
2	Сосна и ель вдоль волокон	=	500	0,29

По результатам численного расчета построены графики распределения температур вдоль сопряжения стен (рис. 2) и вдоль стены в направлении от угла (рис. 3). Профиль температуры вдоль угла при тепловой однородности имеет линейный вид, а в случае учета анизотропии является неравномерным и носит периодический характер, который определяется геометрическими размерами и зависит от типа соединения брусьев стены. Максимальная температура, соответствующая минимальной теплопроводности, наблюдается в геометрическом центре бруса.

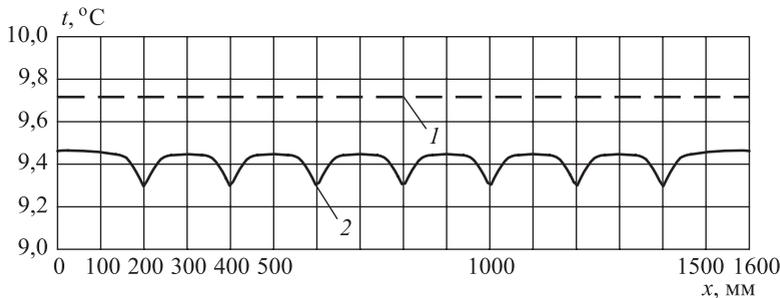


Рис. 2. График распределения температуры вдоль сопряжения стен
1 – без учета анизотропии древесины; 2 – с учетом анизотропии древесины

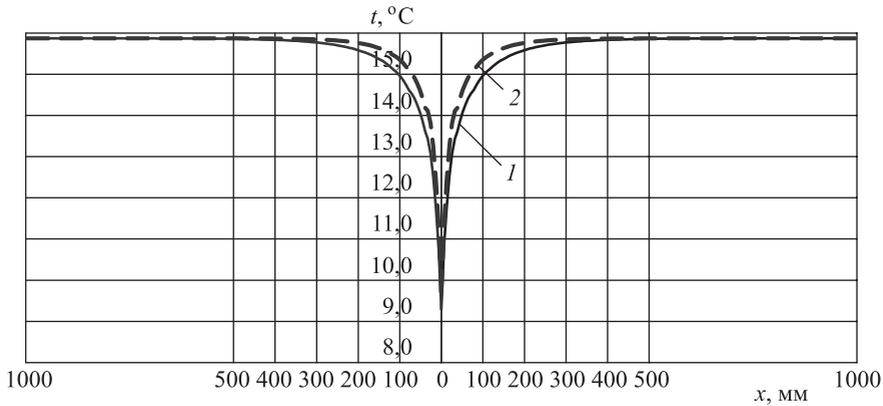


Рис. 3. График распределения температуры вдоль стены в направлении от угла
1 – с учетом анизотропии древесины; 2 – без учета анизотропии древесины

По графику распределения температуры вдоль стены в направлении от угла (см. рис. 3) видно, что температура поверхности стены понижается при приближении к углу. В расчетах, при постоянном коэффициенте теплоотдачи от внутреннего воздуха к стеновому ограждению, это обстоятельство обусловлено разностью площадей тепловосприятия и теплоотдачи и будет зависеть в случае однослойных стен главным образом от геометрии угла.

Для однослойных конструкций аналитический расчет температуры в угловом сопряжении и на внутренней поверхности стенового ограждения производится по формулам СТО 17532043-001–2005 при коэффициентах $A = 1$ и $n = 1$:

$$\tau_B = t_B - \frac{An(t_B - t_H)}{(R_0\alpha_B)^{2/3}}, \quad (1)$$

$$\tau = t_B - \frac{n(t_B - t_H)}{(R_0\alpha_B)}. \quad (2)$$

В выражениях (1), (2) сопротивление теплопередаче рассчитывается по формуле

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_B} + R + \frac{1}{\alpha_B}, \quad (3)$$

где $R = h/\lambda$ – тепловое сопротивление ограждающей конструкции толщиной h и теплопроводностью λ .

Величина степени равная $2/3$ в формуле (1) зависит от угла сопряжения стеновых ограждений и соответствует сопряжению стеновых ограждений под прямым углом. Следует отметить, что в современных нормах не дается рекомендаций по выбору значения теплопроводности материала $\lambda_{||}$ или λ_{\perp} для расчета R в формуле (3).

Согласно аналитическому расчету по формуле (1), минимальная температура в угловой зоне сопряжения стен из бруса $10,1 \text{ }^\circ\text{C}$ при $\lambda = \lambda_{||} = 0,14 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$ и $4,96 \text{ }^\circ\text{C}$ при $\lambda = \lambda_{\perp} = 0,29 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{ }^\circ\text{C})$.

Температура в угловом соединении по результатам численного расчета для случая без учета анизотропии равна $+9,72$ °С и постоянна на всем протяжении угла. Для случая без учета анизотропии в численном расчете древесина была представлена как изотропный материал с теплопроводностью $\lambda = \lambda_{\parallel} = 0,14$ Вт/(м · °С). Для случая численного расчета с учетом анизотропии температура изменяется от $+9,45$ до $+9,29$ °С и имеет среднее значение $9,41 \pm 0,045$ °С.

Минимальная температура в угловом сопряжении для случая численного расчета с учетом анизотропии меньше значения минимальной температуры для случая без учета анизотропии на $0,43$ °С и меньше результата расчета по аналитической формуле (1) на $0,81$ °С. Расчет температуры вдали от угла по аналитической формуле (2) с подстановкой $\lambda = \lambda_{\parallel} = 0,14$ Вт/(м · °С) и численный расчет с учетом и без учета анизотропии древесины дает идентичные значения – $+15,87$ °С.

Согласно расчетам, минимальное значение температуры в угловом соединении меньше установленного санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами по выпадению конденсата на внутренней поверхности стены. Для расчетных значений показателей внутреннего микроклимата ($t = 20$ °С, $w = 55$ %) температура точки росы составляет $+10,7$ °С. Из этого следует, что необходимы мероприятия по утеплению угла.

Способы повышения температуры в углах помещений хорошо представлены в работе [1]. Предлагаются следующие методы решения проблемы наружных угловых сопряжений стен: скашивание внутренних поверхностей наружного угла, скругление наружного угла, устройство на наружной поверхности угла утепляющих пилеастр, установка в наружных углах стоячков разводящего трубопровода центрального отопления.

В публикации [2] предложено для утепления угловой зоны использовать тонкие пластины из высокотеплопроводных материалов, приведены результаты численных расчетов и экспериментальных исследований. В сопоставимых вариантах различие между результатами численных расчетов и экспериментальных данных составило $0,5$ °С или $8,6$ %. Определена оптимальная толщина пластины, которая оказалась равной $0,5$ мм, и сделан вывод о том, что использование материала с теплопроводностью $58\text{--}221$ Вт/(м · °С) дает возможность в исследуемых ими конструкциях обеспечить требуемое повышение температуры. Такой способ, по мнению авторов [2], эффективнее описанных в [1]. Он позволяет предотвратить конденсацию влаги на внутренних поверхностях угла и уменьшить расход строительных материалов. Важно отметить, что авторы [2] не решали задачу оптимизации геометрических параметров, теплопроводности, их взаимного влияния и стоимости высокотеплопроводной вставки.

Для оценки влияния ширины высокотеплопроводной вставки на распределение температурных полей и минимальную температуру поверхности углового сопряжения стен из бруса были проведены численные эксперименты, результаты которых представлены на рис. 4. Хорошо видно, что уже при ширине пластины 50 мм, ее толщине 5 мм и теплопроводности $\lambda = 58$ Вт/(м² · °С) температура в углу существенно повышается, а эффектив-

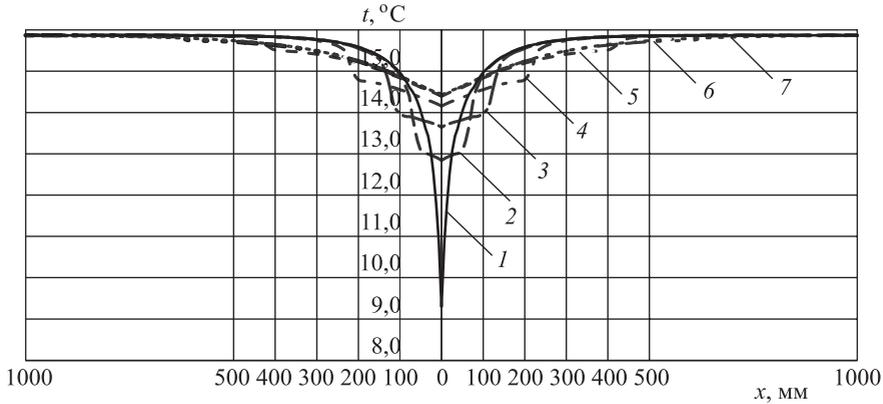


Рис. 4. График распределения температуры вдоль стены в направлении от угла
 1 – без пластины; 2 – пластина 50 мм; 3 – пластина 100 мм; 4 – пластина 200 мм; 5 – пластина 400 мм; 6 – пластина 600 мм; 7 – пластина по всей поверхности стены

ность увеличения температуры с возрастанием ширины уменьшается (графики 5, 6 и 7 отличаются друг от друга незначительно).

Для того чтобы определить оптимальную требуемую теплопроводность и геометрические параметры высокотеплопроводной вставки с целью получения максимальной температуры в угловой зоне сопряжения стен из бруса,

Таблица 3. Матрица планирования эксперимента

№ п/п	L	δ	λ	$L, \text{ м}$	$\delta, \text{ м}$	$\lambda, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}$
1	0	1	-1	0,70	0,005	101
2	1	0	-1	0,40	0,005	201
3	-1	0	1	0,40	0,015	1
4	0	0	0	0,40	0,010	101
5	1	1	1	0,70	0,015	201
6	0	-1	1	0,10	0,015	101
7	-1	1	0	0,70	0,010	1
8	1	-1	0	0,10	0,010	201
9	-1	-1	-1	0,10	0,005	1

реализован трехуровневый дробный факторный эксперимент. В качестве факторов исследования выбраны теплопроводность, ширина и толщина высокотеплопроводной вставки. Выходными параметрами были температура в угловой зоне и площадь поперечного сечения пластины.

Уровни варьирования в кодированных и натуральных величинах, результаты численных расчетов выходных параметров сведены в табл. 3.

В результате расчетов получено уравнение регрессии:

$$t_{\text{уг}}(L, \delta, \lambda) = 14,4 + 3,347 \lambda - 2,803 \lambda^2 + 0,357 L - 0,043 L^2 - 0,223 \delta - 0,687 \delta^2 + 0,983 \lambda L - 0,43 \lambda L^2. \quad (4)$$

Анализируя уравнение регрессии, можно сделать следующие выводы. По степени влияния, которая определяется абсолютной величиной коэффициентов уравнения, исследуемые параметры располагаются в следующем порядке:

$$\Lambda \rightarrow \lambda^2 \rightarrow \lambda L \rightarrow \delta^2 \rightarrow \lambda L^2 \rightarrow L \rightarrow \delta \rightarrow L^2.$$

Повышению температуры $t_{\text{уг}}$ в угловом сопряжении стен из бруса способствует увеличение теплопроводности λ и ширины L высокотеплопро-

водной вставки. Температуру $t_{\text{уг}}$ уменьшает увеличение толщины вставки δ . Квадратичные члены с отрицательным знаком в уравнении свидетельствуют о том, что увеличение значения каждого фактора от минимума -1 до максимума $+1$ при прочих равных условиях с некоторого значения вызывает снижение температуры в угловой зоне, т.е. обнаруживается зона экстремума в исследуемом факторном пространстве.

Экстремальное значение функции $t_{\text{уг}}(L, \delta, \lambda)$ можно найти путем дифференцирования уравнения регрессии (4) по каждому варьируемому параметру и решения системы уравнений

$$\begin{cases} 0,98333L - 5,60666\lambda - \\ -0,43L^2 + 3,34667 = 0, \\ -0,08666L + 0,98333\lambda - \\ -8,86L\lambda + 0,35667 = 0, \\ -1,37333\delta - 0,2233 = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Решения в области варьирования исследуемых факторов система уравнений не имеет, а интерполяция функции за пределы варьирования может привести к серьезным ошибкам в принятии решений. Точное решение системы (5) дает в точке экстремума следующие значения исследуемых параметров в кодированных величинах: $\lambda = 0,686$; $L = 1,524$; $\delta = -0,163$. При этом $t_{\text{уг}} = 16,2$ °С. Оптимальное значение ширины пластины в натуральных величинах равно $0,857$ м в точке экстремума и далеко выходит за пределы варьирования и вряд ли целесообразно.

Расчетное значение $t_{\text{уг}}$ почти на 5 °С превышает значение температуры точки росы для принятых значений граничных условий, что свидетельствует о возможности оптимизации конструкции узла с позиции экономической целесообразности. Таким ограничением может быть объем высокотеплопроводной вставки на 1 м высоты помещения. Объем вставки, соответствующий принятым параметрам теплопроводности, ширины и толщины, по строкам матрицы планирования описывается уравнением:

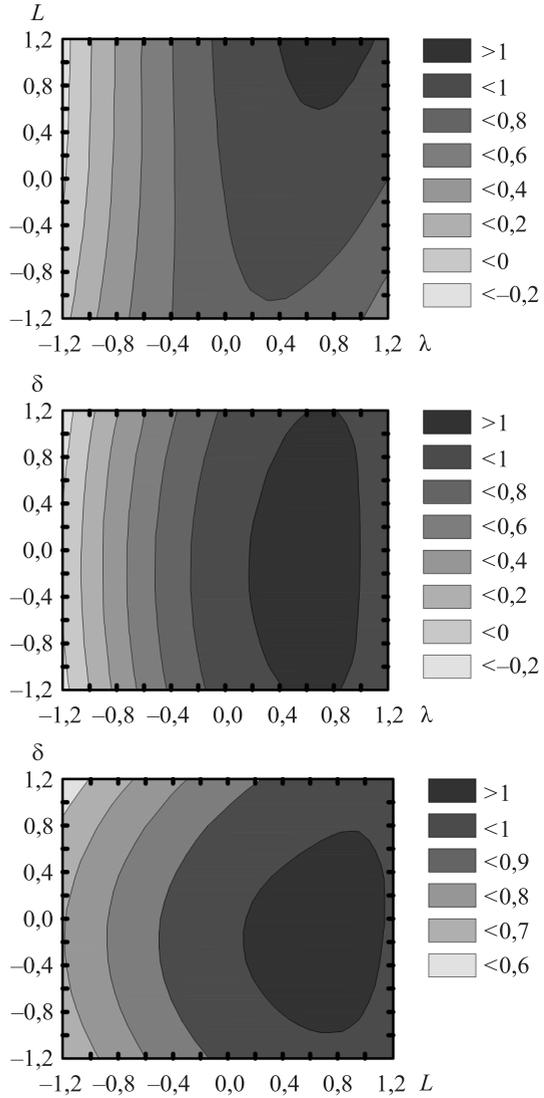


Рис. 5. Поверхность функции желательности

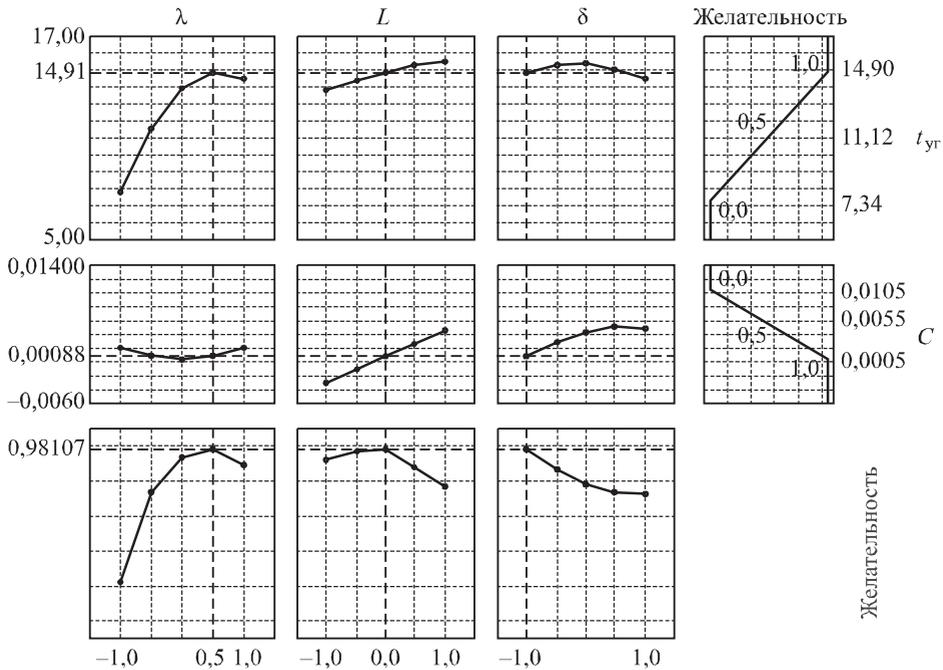


Рис. 6. Профиль функции желательности Е.К. Харрингтона для параметров теплопроводности λ , ширины L и толщины δ высокотеплопроводной вставки

$$C(L, \delta, \lambda) = 0,004 + 0,0015\lambda^2 + 0,003L + 0,002\delta - 0,0015\delta^2 + 0,0015\lambda L. \quad (6)$$

Для решения многокритериальной задачи оптимизации использовалась обобщенная эмпирическая функция желательности Е.К. Харрингтона. В основе построения этой обобщенной функции лежит идея преобразования натуральных значений частных откликов в безразмерную шкалу желательности или предпочтительности [3] (рис. 5).

На рис. 6 видно, что максимальной температуры в углу при минимальном объеме высокотеплопроводной вставки можно достичь при параметрах вставки: $\lambda = 151 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; $L = 0,4 \text{ м}$ и $\delta = 0,005 \text{ м}$, при этом $t_{\text{уг}}(0,5; 0; -1) = 14,91 \text{ °C}$, $C(0,5; 0; -1) = 8,75 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$, а значение функции желательности оказалось равным 0,98. Температура в углу $t_{\text{уг}} = 14,91 \text{ °C}$ больше температуры точки росы $t_w = 10,7 \text{ °C}$, а $\lambda = 151 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$ предполагает использование высокотеплопроводного материала, например, алюминия ($\lambda = 221 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$).

Целесообразен материал с меньшей теплопроводностью, но более дешевый, например, обычная сталь, широко используемая в строительстве, теплопроводность которой составляет $58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$. Эту задачу легко решить с помощью уравнения (4) при значениях $\lambda = 58 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{°C})$; $L = 0,4 \text{ м}$ и $\delta = 0,005 \text{ м}$. Температура в угловой зоне при данных параметрах вставки $11,98 \text{ °C}$, что больше температуры точки росы.

Выводы. Приведенные расчеты показывают, что минимальная температура в угловом сопряжении, вычисленная с помощью численного расчета с

учетом анизотропии, меньше результата расчета по аналитической формуле на 0,81 °С. Показатели температуры вдали от угла, полученные с помощью численного эксперимента и аналитического расчета, совпадают и равны +15,87 °С.

При расчете температуры вдали от угла по формуле (2) значение теплопроводности следует принимать равным $\lambda = \lambda_{\parallel}$. При расчете температуры в угловой зоне для получения корректных результатов необходимо учитывать влияние анизотропии древесины, что нельзя сделать путем применения аналитической формулы (1).

Полученные значения температуры в угловом соединении меньше установленных санитарно-эпидемиологическими правилами и нормами. Использование высокотеплопроводной вставки позволяет эффективно повысить температуру в угловом сопряжении стен из бруса.

С помощью обобщенной эмпирической функции желательности Е.К. Харрингтона получены оптимальные параметры вставки: $\lambda = 151$ Вт/(м · °С), $L = 0,4$ м, $\delta = 0,005$ м.

Полученное значение теплопроводности предполагает использование в качестве материала вставки алюминия ($\lambda = 221$ Вт/(м · °С)), но с точки зрения экономики целесообразна вставка из стали ($\lambda = 58$ Вт/(м · °С)) при незначительной потере эффективности метода повышения температуры.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Фокин К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий / под ред. Ю.А. Табунщикова, В.Г. Гагарина. 5-е изд., пересмотр. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.
2. Табунщиков Ю.А., Хромец Д.Ю., Матросов Ю.А. Тепловая защита ограждающих конструкций зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1986. 380 с.
3. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Наука, 1976. 280 с.

Назиров Рашит Анварович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Баженов Роман Владимирович, асп.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Игнат'ев Геннадий Васильевич, канд. техн. наук, проф.

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Получено 29.07.16

Nazirov Rashit Anvarovich, DSc, Professor

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Bazhenov Roman Vladimirovich, Post-graduate Student

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Ignat'ev Gennadiy Vasil'evich, PhD, Professor

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

**TEMPERATURE INCREASE
IN ANGULAR CONNECTION OF WALLS FROM
THE BAR TAKING INTO ACCOUNT THERMAL
INHOMOGENEITY OF WOOD**

As a result of calculations influence of anisotropy of heat conductivity of wood up and down of fibers on temperature in angular connection of walls from a bar is established. The way of temperature increase in angular connection of walls from a bar with use of a diathermic insert is considered and optimized by means of Harrington's function.

Key words: high-thermal-conductive material, anisotropy, thermal homogeneity, angular connection, energy efficiency.

REFERENCES

1. F o k i n K.F. Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh chastey zdaniy [Building heat engineering of enclosing parts of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS, 2006. 256 p. (in Russian)
2. T a b u n s h h i k o v Yu.A., H r o m e c D.Yu., M a t r o s o v Yu.A. Teplovaya zashchita ograzhdayushchikh konstruktsiy zdaniy i sooruzheniy [Thermal protection enclosing structures of buildings and constructions]. Moscow, Sroyizdat, 1986. 380 p. (in Russian)
3. A d l e r Yu.P., M a r k o v a E.V., G r a n o v s k i y Yu.V. Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nykh usloviy [Scheduling of an experiment when searching optimum conditions]. Moscow, Nauka, 1976. 280 p. (in Russian)

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

ТАЛАНТЛИВЫЙ УЧЕНЫЙ – МЕХАНИК, ИЗОБРЕТАТЕЛЬ, ПЕДАГОГ

(Эдуарду Александровичу Абраменкову – 80 лет)

Эдуард Александрович Абраменков родился 22 июля 1936 г. в дер. Дубровка Демидовского района Смоленской области Российской Федерации. После окончания средней школы в г. Кировограде УССР проходил службу в воздушно-десантных войсках Советской армии. С 1963 г., закончив Новосибирский инженерно-строительный институт им. В.В. Куйбышева, работал на кафедре строительных машин в должностях ассистента, доцента, профессора.

С 1985 по 2005 г. заведовал кафедрой «Строительные машины», а после реорганизации возглавлял кафедру «Строительные машины, автоматика и электротехника». В настоящее время продолжает работать на кафедре в качестве профессора. С 1993 г. член-корреспондент, с 2008 г. – действительный член Международной академии высшей школы.

Э.А. Абраменков участвовал в работе Технического совета при Министерстве образования РСФСР (1981–1985), был членом УМО АСВ секции «Строительные машины и оборудование» до 1995 г. С 1989 по 2010 г. являлся членом докторских диссертационных советов в Институте горного дела Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин), Омском автомобильном институте (СибАДИ) и Томской государственной архитектурно-строительной академии (ТГАСА).

Э.А. Абраменковым опубликовано более 650 научных работ, в том числе 6 монографий, 10 учебных пособий, 3 электронных учебника, более 200 научных статей в рейтинговых журналах России и Казахстана. Среди наиболее весомых научно-методических и учебно-методических работ, монографий: «Пневматические механизмы машин ударного действия», «Средства механизации для подготовки оснований и устройства фундаментов», «Физико-математические модели и расчет пневматических механизмов машин ударного действия» (в 6 т.), «Штоковые пневматические механизмы машин ударного действия», «Навесные пневматические молоты для разработки мерзлых грунтов», «Грунтовые среды в условиях статического и динамического нагружения», «Строительные машины и оборудование в фундаментах строительства».



Абраменков имеет более 250 авторских свидетельств и патентов СССР и Российской Федерации, из них 56 со студентами, магистрантами и аспирантами, 13 зарубежных и инновационных патентов Великобритании, США, Германии, Франции, Японии, Италии, Канады, Швеции и Республики Казахстан.

Опубликовано в соавторстве два учебника; 10 учебных пособий; более 10 методических указаний к лабораторным работам, практическим занятиям, курсовому и дипломному проектированию; разработаны и внедрены новые учебные курсы для магистрантов.

Э.А. Абраменков руководит магистратурой, аспирантурой и докторантурой, подготовил 2 доктора и 7 кандидатов технических наук, более 10 магистров техники и технологии строительства.

Его основные научные достижения – в области теории и инженерных разработок пневматических машин ударного действия для строительства.

В качестве руководителя разрабатывал теоретические вопросы и проводил исследования по пяти грантам Министерства образования РФ. В настоящее время руководит научным направлением университета «Современные проблемы механизации и автоматизации технических процессов в строительстве» и является бессменным лидером научно-педагогической школы «Пневматические механизмы и машины ударного действия».

В рамках международного сотрудничества Э.А. Абраменковым установлены научно-педагогические связи с учеными из Республики Казахстан: им прочитаны циклы лекций, даны консультации по подготовке магистерских диссертаций и осуществлено руководство над магистрантами Карагандинского государственного технического университета, осуществлены выпуски учебников, монографий; инновационных патентов; научных статей в журналах и сборниках международных конференций; рецензирование научных исследований ученых ряда вузов Республики Казахстан. В течение 15 лет он является научным редактором международного научного журнала «Актуальные проблемы современности», издаваемого с участием научной общест-венности стран СНГ с 2002 г. в Караганде.

Э.А. Абраменков удостоен почетных званий «Заслуженный изобретатель РСФСР», «Заслуженный работник высшей школы Российской Федерации». Награжден бронзовой медалью Главного комитета ВДНХ СССР; серебряными медалями Главного комитета ВДНХ СССР; медалями «Заслуженный изобретатель РСФСР», «Ветеран труда»; знаком «Высшая школа. За отличные успехи в работе»; памятными знаками за плодотворную работу и в честь 110, 115, 120-летия г. Новосибирска; нагрудным знаком «60 лет КарГТУ».

Э.А. Абраменков полон творческих планов учебного и научного направлений, продолжает работать на кафедре, читает лекции, руководит дипломным проектированием, разрабатывает новые курсы подготовки магистров, руководит аспирантами.

КОЛЛЕГИ, УЧЕНИКИ, ДРУЗЬЯ ЖЕЛАЮТ ЮБИЛЯРУ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ, СЧАСТЬЯ, УСПЕХОВ В НАУЧНОЙ И ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ РАБОТЕ. РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ К ПОЗДРАВЛЕНИЯМ И ЖЕЛАЕТ ЕМУ ТВОРЧЕСКОГО ДОЛГОЛЕТИЯ

ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ ОБЩЕДОСТУПНОЙ СРЕДЫ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин) предлагает проект создания общедоступной среды жизнедеятельности. Этапы работы – проведение экспертизы для разработки безбарьерной (доступной) архитектурной среды, призванной способствовать профилактике, поддержанию и восстановлению здоровья и интеграции в общество людей с ограниченными физическими возможностями и инвалидностью, непосредственно проектирование и строительство.

НАЗНАЧЕНИЕ ПРОЕКТА

- Создание перечня социально значимых объектов, нуждающихся в реконструкции, на основе анализа состояния пригодности существующей среды жизнедеятельности для инвалидов и маломобильных групп населения.
- Проведение экспертизы проектной документации, в основе которой – контроль за реализацией требований по доступности объектов.
- Проектирование и реконструкция объектов городской среды, гражданских зданий и сооружений, транспортных и пешеходных коммуникаций; благоустройство территорий; вертикальная планировка прилегающих территорий (перекрестки, поребрики, проектирование специального оборудования, направляющих поручней, пандусов на перепаде рельефа, подпорных стенок, рам на остановочных площадках городского общественного транспорта), реконструкция интерьеров, входов и подходов, устройство крылец с пандусами, парковок и автостоянок, зеленых зон и детских площадок с учетом адаптации для различных маломобильных групп населения, зеленых газонов и садов на крышах городских зданий и сооружений, загородных коттеджей.

ГЛАВНЫЕ ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- Комплексный подход к созданию комфортной архитектурной среды жизнедеятельности в соответствии с нормативно-правовой базой.
- Кратчайшие сроки проведения предпроектного и проектного этапов реконструкции и нового строительства.

ДЕЛОВЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- Банк данных региональной нормативно-правовой, методической и проектной документации по созданию общедоступной среды жизнедеятельности.
- Разработка рабочих проектов реконструкции социально значимых объектов: учреждений образования, вузов, предприятий торговли, бытового обслуживания, административных зданий, театров и спортивных сооружений, городских общественных туалетов, лечебно-профилактических учреждений, реабилитационных центров, культовых зданий, сооружений и комплексов.
- Организация курсов повышения квалификации (в том числе дистанционных) для специалистов в области архитектуры и градостроительства в части обеспечения безбарьерной (доступной) среды жизнедеятельности инвалидов.

СОТРУДНИЧЕСТВО

Сотрудничество позволит предприятиям строительного комплекса создавать в кратчайшие сроки общедоступную среду жизнедеятельности с минимальными финансовыми затратами за счет комплексной интеграции научных исследований, проектирования и строительства.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio@sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

Тел/факс: +7 (383) 266 25 27

ТОНКОСТЕННЫЕ КОНСТРУКЦИИ ИЗ ГНУТЫХ ОЦИНКОВАННЫХ ПРОФИЛЕЙ

В НГАСУ (Сибстрин) разработаны новые экономичные и долговечные оцинкованные металлические конструкции, которые состоят из гнутых оцинкованных С-образных профилей и оцинкованных профилированных листов. Соединения элементов конструкций выполняются с помощью высокопрочных болтов и самонарезающих винтов.

Основное предназначение конструкций — несущие элементы покрытий различных зданий пролетами до 18 м.



ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Производственные, складские и сельскохозяйственные здания, а также здания спортивного, торгового назначения; гаражи и здания технического обслуживания транспорта; надстройки (мансарды) существующих жилых домов; одно-, двухэтажные жилые и нежилые здания.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРЕДЛОЖЕНИЯ

- в 2 раза легче обычных неоцинкованных металлических конструкций;
- нет необходимости производить антикоррозионные мероприятия, так как оцинкованное покрытие обеспечивает сохранность конструкций на срок до 50 лет и более;
- при строительстве в удаленных районах позволит дополнительно сэкономить на транспортных расходах за счет меньшей массы и габаритов (перевозка в пакетах с последующей сборкой конструкций на стройплощадке).

НГАСУ (Сибстрин) обеспечивает содействие по решению технических вопросов внедрения предлагаемых конструкций на всех стадиях строительства и эксплуатации здания и проведение авторского надзора.

630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

E-mail: ntio@sibstrin.ru

Internet: www.sibstrin.ru/innovation

Тел./факс: +7 (383) 266 28 89

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Рукопись представляется в редакцию на *русском языке*. Зарубежные авторы могут присылать статьи на *английском языке*. Возможна публикация статьи одновременно в двух вариантах — на русском и английском языках. В этом случае оформляются два текста статьи — на русском языке и точный перевод на английский.

— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

— *рекомендация* соответствующего академического (кафедры) или научного подразделения (заверенная выписка из протокола заседания подразделения);

— *экспертное заключение* о возможности опубликования, оформленное в организации, откуда исходит рукопись.

Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в редакторе Microsoft Word для Windows (версии от Word 97 до Word 10; от Windows XP до Windows 10). Текст набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5, все поля — 20 мм. Обязательна нумерация страниц внизу по середине. Объем рукописи — до 12 страниц А4, включая иллюстрации, таблицы, библиографический список и сведения об авторах.

3. Состав рукописи статьи, правила и образец оформления см. на Internet-сайте журнала <http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/>

а) *русскоязычная часть:*

— индекс УДК — в левом верхнем углу, прописными буквами;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация объемом до 1/3 страницы текста (не менее 80 слов);

— ключевые слова (не менее 5);

— текст статьи;

- следует применять физические величины и их обозначения согласно международной системе СИ;
- аббревиатуры и сокращения расшифровываются при первом использовании;

- **формулы** набирать шрифтом Times New Roman в редакторе формул MS Equation или MathType, в статье должен быть необходимый минимум формул; все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента);

- русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом; латинские буквы — курсивом;

- во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и *k* и др., а также трудноразличимых букв и символов *l*, *e* и *1* (цифра), *и* и *п*, *I* и *J* и т.п. пояснения выполняются простым карандашом на полях;

- **иллюстрации** представляются в редакцию в виде файлов, созданных в Corel Draw или Microsoft Word, записанных с разрешением 300 dpi, с расширением cdr (предпочтительно) или .doc, фотографии — TIFF или JPEG; надписи и цифры набирать шрифтом Times New Roman, иллюстрации, в том числе фотографии, должны иметь хорошую проработку деталей и должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки);

- иллюстрации распечатываются в двух экземплярах, с подписями к ним, размер иллюстрации — не более 20х30 см, их общее число, как правило, не более 4;

- **таблицы** печатаются каждая на отдельном листе, все наименования в них даются полностью, без сокращения слов;

- **библиографический список** (не менее 8 ссылок), составляется по следующим правилам:

- в список включаются *только опубликованные работы*, в порядке упоминания в статье, ссылки на них в тексте статьи даются арабскими цифрами в квадратных скобках, в списке не должно быть нормативных документов (ГОСТов, СНИПов, технических регламентов, правовых актов и т.п. неавторизованных источников) — ссылки на них даются в тексте статьи в развернутом виде или в форме подстрочных сносок, библиографический список следует оформлять по ГОСТ Р 7.0.5–2008 (примеры см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/rules_and_examples_of_design_bibliograficheskogo_list/), ссылки на интернет-сайты не допускаются;

- для статей из зарегистрированных *электронных журналов* указываются фамилии и инициалы авторов, название статьи, название журнала, выходные данные выпуска, адрес сайта журнала и дата обращения к электронному ресурсу;

— **сведения об авторах**: последовательно для каждого — фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень, звания (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать), наименование учреждения, в котором работает автор, e-mail автора, страна (если не Российская Федерация);

б) *англоязычная часть:*

— **сведения об авторах** — последовательно для каждого:

- фамилия, имя, отчество полностью, транслитерированные в латинские символы по системе BGN (использовать таблицу «правила транслитерации» см. на сайте http://izvuzstr.sibstrin.ru/oformlen/BGN_PCGN_romanization/);

(Окончание правил)

- ученая степень (DSc — доктор наук, PhD — кандидат наук, MSc — магистр, без указания научного направления), ученые звания (Professor, Ass. Professor, Academician of..., Corr. Member of... — профессор, доцент, академик ..., член-корреспондент ...), другое — Senior Lecturer (ст. преподаватель), Engineer (инженер), Post-graduate Student (аспирант), Student (студент);
 - официальное англоязычное название организации (учреждения), города (если не упоминается в названии организации), страны;
- название статьи;
- аннотация;
- ключевые слова (Keywords);
- библиографический список;
- для зарубежных источников на латинице — с сохранением оригинального описания;
 - для ссылок на русскоязычные источники — транслитерированные с русских букв на латинские символы (по системе BGN) фамилии и инициалы всех авторов и название статьи; затем в квадратных скобках — название статьи в переводе на английский язык; остальные элементы библиографического описания на английском языке, с исключением разделителей /, —, // и заменой №, с. и С. соответственно на No., p. и Pp., в конце — (in Russian).
4. Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).
5. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению; авторы могут сообщить редакции данные о специалистах по профилю статьи. Доработанную после рецензии статью присылать в электронном виде.
6. Корректурa статьи может предоставляться по запросу автора.
7. Гонорар за опубликование статьи не выплачивается.
8. Журнал публикует информацию о научно-технических разработках в области строительства объемом 1 с., включая 1–2 иллюстрации. Указываются разработчики: фамилия, имя, отчество полностью, звания и контактная информация. Электронная версия обязательна.
9. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

«СТРОИТЕЛЬСТВО»

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции	Строительство автомобильных дорог и мостов
Теория инженерных сооружений	Строительные и дорожные машины
Строительные материалы и изделия	Научные проблемы архитектуры и экологии
Экономика и организация строительства	Научно-методический раздел
Автоматизация и технология строительного производства	В лабораториях вузов
Гидротехническое строительство	Внедрение научных достижений в производство
Санитарная техника	Научная информация

На 2-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2016 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3600 р.

цена отдельного номера — 600 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 8 (692) 2016

Научно-теоретический журнал

Редакторы: *С.М. Погудина, Н.И. Коновалова*

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*