

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
И НАУКИ РФ
МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНЫХ ВУЗОВ

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

СТРОИТЕЛЬСТВО

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

№ 2 (686)
Февраль 2016 г.

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. Игнатьев, 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. Правдинец, 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 26.02.16. Формат 70×108 1/16
Усл. печ. л. 10,34+0,35. Тираж 350 экз. Заказ 855

ООО «Партнеры Сибири»
630009, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 16
© Издатель НГАСУ (Сибстрин), 2016

СОДЕРЖАНИЕ

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

- Сабуров В.Ф.** Влияние стыка кранового рельса на работу подкрановых путей промышленных зданий 5
Жаданов В.И., Инжутов И.С., Украинченко Д.А., Яричевский И.И. О неиспользуемых резервах в проектировании панельных конструкций на основе деревянного каркаса 15

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ

- Шахов С.А., Рогова Е.В.** Влияние механической активации на прочностные свойства зольного цемента 25
Тацки Л.Н. Двухстадийная активация – способ повышения качества кирпича пластического формования 32

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

- Герасимов В.В., Исаев А.К., Сафарян Г.Б., Иконников В.В.** Прогнозирование организационно-

технологических решений строительного производства в условиях неопределенности	40
ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	
Хорошилов В.С., Кобелева Н.Н., Губонин П.Н. Математическое моделирование деформационного процесса для изучения перемещений плотины Саяно-Шушенской ГЭС на основе динамической модели (2004–2007 гг.)	49
САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА	
Пуговкин А.В., Мукашев А.М. Влияние погрешности измерения температуры воздуха на точность вычисления тепловой энергии, отдаваемой отопительным прибором	59
Самарин О.Д. О новом подходе к учету конденсации водяных паров при тепловом расчете воздухохладителей	67
СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ	
Федосов С.В., Грузинцева Н.А., Чистякова Н.Э., Грушина Ю.С., Гусев Б.Н. Совершенствование методики формирования плана технологического контроля производства геотекстильных материалов для дорожного строительства	74
СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ	
Малышева Ю.Э., Дмитриев М.П., Кутумов А.А., Абраменков Э.А. Пневмоударные механизмы с управляемыми дросселями впуска и описание их баро- и термодинамических процессов	81
НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ	
Высоцкий Л.И. Эффективное использование новой модели строения турбулентных продольно-однородных потоков при анализе их параметров. Часть II	92
Копчелева О.Э., Логвиненко В.А. Термический анализ древесины. Часть I	98
Семикопенко И.А., Воронов В.П., Беляев Д.А. Определение равновесной траектории движения частицы материала в периферийной области разделения камеры помола дезинтегратора	104
В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ	
Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О некоторых результатах исследований насыпных грунтов	109
НАШИ ЮБИЛЯРЫ	
Видный инженер-гидротехник, организатор и ученый (Аркадию Петровичу Яненко – 75 лет)	117

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. 2 (686)
February 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

- Saburov V.F. Influence of the joint of the crane rail on the work of crane Runways of industrial buildings 5
Zhadanov V.I., Inzhutov I.S., Ukrainchenko D.A., Yarichevsky I.I. About not used reserves in design of the panel constructions on the basis of wooden framework 15

BUILDING MATERIALS AND PRODUCTS

- Shakhov S.A., Rogova E.V. Influences of the mechanical activating of ash of sediment of waste water treatment on activity of cement 25
Tatski L.N. Two-stage activation – method of improving the quality of brick plastic molding 32

ECONOMICS AND MANAGEMENT OF CONSTRUCTION. AUTOMATION AND CONSTRUCTION TECHNOLOGY

- Gerasimov V.V., Isakov A.K., Safaryan G.B., Ikonnikov V.V. Prediction of organization and technological solutions construction production under conditions of uncertainty 40

HYDROTECHNICAL CONSTRUCTION	
Khoroshilov V.S., Kobeleva N.N., Gubonin P.N. Creation of expected mathematical model for studying of process of movements of a dam of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station on the basis of dynamic model (2004–2007)	49
SANITARY ENGINEERING	
Pugovkin A.V., Mukashev A.M. Precision measurement's influence of air temperature on the accuracy calculation of thermal energy given to heating devices	59
Samarin O.D. On a new approach to the account of water vapor sweating during thermal calculation of air coolers	67
CONSTRUCTION OF MOTOR ROADS AND BRIDGES	
Fedosov S.V., Gruzintseva N.A., Chistyakova N.E., Grushina Yu.S., Gusev B.N. Improved methods of constructing the plan of technology control of geotextiles production for road construction purposes	74
BUILDING AND ROAD MACHINES	
Malysheva Yu.E., Dmitriev M.P., Kutumov A.A., Abramakov E.A. Air percusion mechanisms with controlled throttles intake and a description of their baro- and thermodynamic processes	81
SCIENTIFIC AND METHODICAL SECTION	
Vysotskiy L.I. Efficient use a new model of turbulent structure of a longitudinally-uniform flow when analyzing their parameters. Part II	92
Kosheleva O.E., Logvinenko V.A. Thermal analysis of the wood. Part I	98
Semikopenko I.A., Voronov V.P., Belyaev D.A. Determination of equilibrium trajectory of movement of the material particles in the peripheral area of disintegrator separation mill chamber	104
IN HIGHER SCHOOL LABS	
Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Some research results of fill soils	109
JUBILEE'S ARTICLES	
The prominent hidrotechnical engineer, the organizer and the scientist (Arkady Petrovich Yanenko – 75 years)	117

СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ



УДК 624.014.001.2 : 625.14

В.Ф. САБУРОВ

ВЛИЯНИЕ СТИКА КРАНОВОГО РЕЛЬСА НА РАБОТУ ПОДКРАНОВЫХ ПУТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ

Проблема усталостной долговечности подкрановых конструкций остается актуальной по настоящее время. В статье рассмотрен вопрос о влиянии на долговечность системы «крановый рельс – подкрановая конструкция» поведения рельса в зоне не перекрытого накладками стыка. В процессе эксплуатации в этой зоне появляются дефекты подкранового пути в виде «зазора» и «ступеньки». При прохождении через стык колес мостового крана возникают значительные по величине динамические нагрузки, вызывающие разрушения кранового рельса и оказывающие негативное влияние на долговечность верхней зоны стенки подкрановых балок. Дано решение динамической задачи взаимодействия колеса крана с крановым рельсом, опирающимся на упругое основание-стенку подкрановой балки. Получены значения динамического импульса при проходе колеса крана через данные дефекты и предложены рекомендации по назначению безопасной величины зазора и ступеньки из условия усталостной прочности подголовочной зоны кранового рельса.

Ключевые слова: производственные здания, подкрановые пути, крановые рельсы, стык рельса, дефекты стыка.

Действующие нормативные документы Госгортехнадзора относят крановый путь к зоне ответственности служб, отвечающих за безопасную эксплуатацию мостовых кранов. Согласно нормативам, крановый путь – это подкрановые рельсы и их крепления к подкрановым балкам. Этот неудачный пример разделения единой несущей конструкции цеха на «ведомственные» элементы свидетельствует о непонимании их взаимодействия и взаимовлияния. Совместная работа кранового рельса и подкрановой балки рассмотрена в статье [1], из которой следует, что напряженно-деформированное состояние (НДС) и, следовательно, долговечность крановых рельсов зависит от жесткости основания, на которое рельс опирается, т.е. от конструкции подкрановых балок. Но еще большее влияние стык кранового рельса оказывает на НДС верхней зоны стенки подкрановых балок [2].

В подкрановых путях производственных зданий, как правило, применяется прямой не перекрытый накладками стык рельсов, в котором между

торцами рельса имеются зазоры для компенсации их перемещений при «угоне» или температурных деформаций. Конструктивные особенности такого стыка способствуют образованию дефектов кранового пути «зазор» и «ступенька» (рис. 1), при прохождении через которые колеса кранов возникают значительные динамические нагрузки, вызывающие разрушения рельсов.

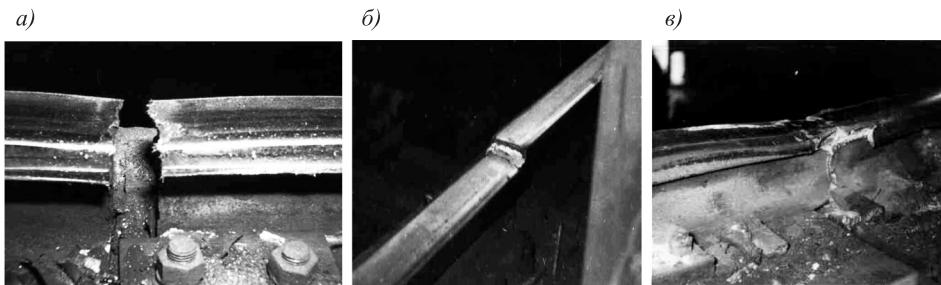


Рис. 1. Стыки крановых рельсов и их разрушение. Вид на подкрановых путях
а – зазор в стыке; б – «ступенька»; в – разрушение головки рельса в стыке

Крановый рельс, как элемент системы, является сменным элементом пути, срок эксплуатации которого определяется степенью его износа и наличием повреждений. Повреждения рельсов в зоне стыка возникают из-за изменения статических условий опирания рельса на пояс подкрановой балки по сравнению с непрерывным рельсом, что вызывает разные схемы его деформирования при проходе колес крана (рис. 2).

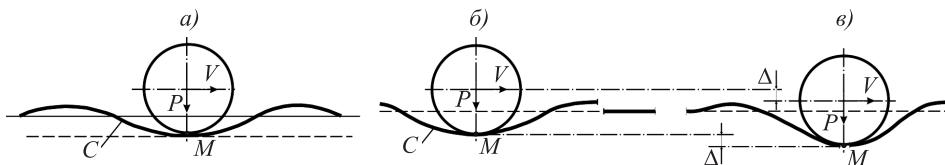


Рис. 2. Схема деформирования кранового рельса
а – при непрерывном рельсе; б – при подходе колеса к стыку; в – в зоне стыка

Рельсы, уложенные на пояс подкрановых балок, представляют собой бесконечно длинную балку на сплошном упругом основании – упругой полуплоскости [1]. При движении колеса крана по непрерывному рельсу его рабочая поверхность, как балки на упругом основании, принимает форму кривой осадки C (см. рис. 1, а) и нижняя точка колеса M перемещается по прямой.

Напротив, при подходе колеса к зоне стыка кривая осадки C изменяет свою форму (см. рис. 2, б): точка M колеса перемещается вниз, а принимающий конец рельса остается на уровне недеформированного пояса балки и образует «ступеньку». Кроме того, «ступенька» в стыке может возникнуть из-за разной высоты стыкуемых рельсов, вызванной неравномерным износом или использованием при замене рельсов разных партий поставки (см. рис. 1, б).

При прохождении колеса через неровности в стыке (рис. 3) видно, что мгновенный центр вращения колеса скачкообразно перемещается из положения O_1 в положение O_2 . В результате этого возникает вертикальная составляющая скорости движения центра тяжести колеса $V_{уд}$, которая

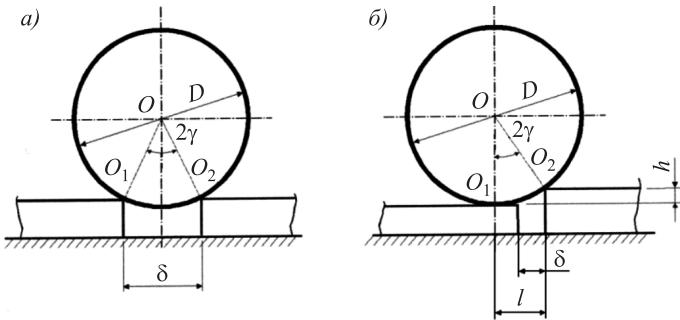


Рис. 3. Схемы прохождения колеса по стыку при «зазоре» и «ступеньке»

a – «зазор»; б – «ступенька»

и приводит к соударению колеса с рельсом. При ударе силы взаимодействия достигают очень больших величин и вызывают значительные локальные деформации и разрушения головки рельса (см. рис. 1, в). Общие деформации рельса за это время не успевают достичь больших величин и реакция упругого основания (стенки подкрановой балки) незначительна. Косвенным подтверждением этого является отсутствие в поясных швах подкрановых балок, находящихся под стыками рельсов, преимущественно появления усталостных трещин [3, 4].

Для анализа работы кранового рельса в зоне стыка предложена динамическая модель взаимодействия колеса и рельса, представленная на рис. 4. В данной схеме приведенная масса рельса $m_{\text{пр}}$ и реакция рельсового основания $G_{\text{р.о.}}$ приведены к точке контакта колеса крана с приведенной массой M_k . Между колесом и рельсом действует упругая связь с жесткостью G_k , а между рельсом и основанием – упругая связь с жесткостью $G_{\text{р.о.}}$. Расчетная модель соответствует системе с двумя степенями свободы, учитывающей действие только вертикальной крановой нагрузки.

Процесс соударения колеса и рельса описывается системой линейных дифференциальных уравнений с постоянными коэффициентами [5]:

$$\begin{cases} M_k y'_1 + G_k (y_1 - y_2) = 0, \\ m_{\text{пр}} y''_2 + \alpha_{\text{пр}} y'_2 + G_{\text{пр}} y_2 - G_k (y_1 - y_2) = 0. \end{cases} \quad (1)$$

В системе (1) первое уравнение описывает движение колеса крана массой M_k , а второе – движение приведенной массы рельса $m_{\text{пр}}$. За начальные условия принимаем:

$$y_1 = y_2 = y'_2 = 0; \quad y'_1 = V_k, \quad (2)$$

где y – перемещения центров тяжести элементов системы;

V_k – начальная относительная скорость движения колеса и рельса (считается заданной).

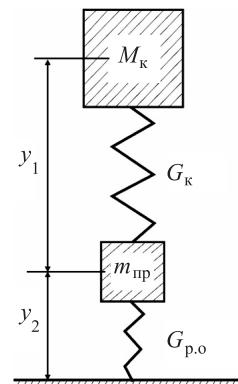


Рис. 4. Расчетная модель к определению ударного взаимодействия колеса и рельса

M_k – приведенная масса колеса мостового крана; G_k – контактная жесткость колеса и рельса; $m_{\text{пр}}$ – приведенная масса рельса; $G_{\text{р.о.}}$ – контактная жесткость рельсового основания

Выражение $G_k(y_1 - y_2)$ определяет величину давления контактной пружины на колесо и рельс в зависимости от расстояния между ними. В общем случае эта функция нелинейна, однако для случая подкрановых путей этой нелинейностью пренебрегаем, так как рассматриваемая система имеет практически одинаковые деформационные характеристики.

Решение системы (1) с учетом (2) позволяет вычислить максимальное значение силы ударного взаимодействия колеса и рельса [5]:

$$P_{\text{уд. max}} = V_{\text{уд}} \sqrt{m_{\text{пр}} G_k}, \quad (3)$$

где $V_{\text{уд}}$ – вертикальная составляющая относительной скорости соударения колеса и рельса, см/с.

Контактная жесткость G_k определяется местной деформацией рельса и колеса и состоит из деформаций в зоне контакта колеса и рельса (контактные деформации) и деформаций в их остальных частях.

Воспользуемся теорией контактных напряжений Герца–Беляева [6] и вычислим контактные деформации в направлении вертикальной оси Z с учетом трехосного сжатия головки рельса (табл. 1)

$$\varepsilon_z = \frac{\sigma_z}{E} - \frac{\mu}{E}(\sigma_x + \sigma_y). \quad (4)$$

Из табл. 1 следует, что действие на крановый рельс нормативной колесной нагрузки вызывает в головке рельса разные контактные напряжения и деформации. Однако при действии одинаковой нагрузки ($P = 100$ кН) вертикальные контактные деформации практически одинаковы. Это позволяет условно объединить крановые рельсы по величине контактной деформации на две группы: рельсы «легкого» типа – КР 70 и КР 80 с $\varepsilon_z = 0,00186 \approx 0,002$ и рельсы «тяжелого» типа – КР 100 и КР 120 с $\varepsilon_z = 0,00104 \approx 0,001$.

Таблица 1

Тип рельса	Диаметр колеса, мм [7]	Нормативная колесная нагрузка P_h , кН (т)	Напряжения от действия нормативной нагрузки, кН/см ²			$\varepsilon_z \cdot 10^{-4}$ при	
			σ_x	σ_y	σ_z	P_h	$P = 100$ кН
КР 70	500	270 (27)	-145	-152	-192	50,2	18,6
КР 80	500	340 (34)	-183	-191	-242	63,3	18,6
КР 100	700	480 (48)	-158	-162	-198	49,8	10,4
КР 120	700	620 (62)	-204	-209	-255	64,0	10,3

В табл. 1 нормативная колесная нагрузка принята по рекомендациям¹, а соотношение «тип рельса – диаметр колеса» – по результатам исследования [7]. Местные деформации шейки рельса могут быть вычислены из идеализированной схемы, представленной на рис. 5.

Осадка элементарного столбика шейки рельса высотой $h_{\text{ш}}$ под действием колесной нагрузки F равна:

$$\Delta y_m = p_0 h_{\text{ш}} / E, \quad (5)$$

¹ Справочник по кранам: В 2 т. М.: Машиностроение, 1988. Т. 1. 536 с.

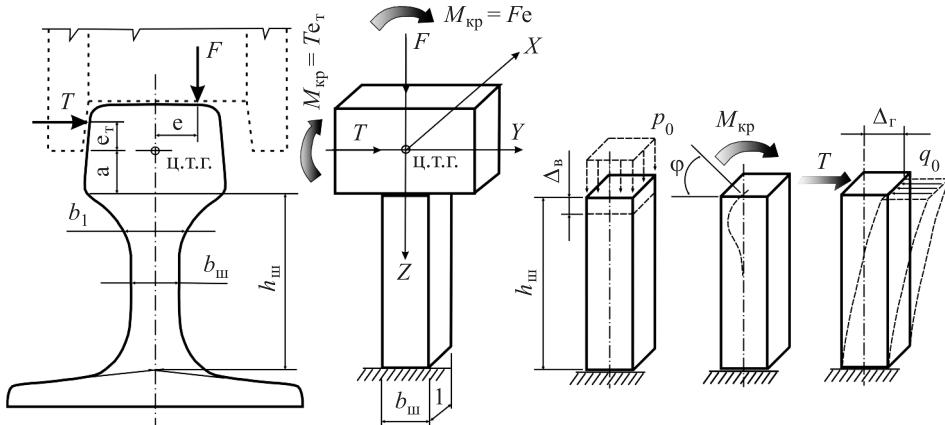


Рис. 5. Расчетная схема для определения вертикальной податливости шейки рельса

где $p_0 = \frac{F}{2} \sqrt{\frac{b_0}{4h_0 I_y}}$ – напряжения по площадке сопряжения головки рельса с шейкой [7].

Расчеты по формуле (5) при $F = 100$ кН показали, что:

- для рельсов КР 70 и КР 80 $\Delta y_{mp} = 0,134$ мм;
- для рельсов КР 100 и КР 120 $\Delta y_{mp} = 0,114$ мм.

Местные деформации кранового колеса, в связи с отсутствием данных для крановых колес, вычислены с использованием исследования [5] для колес железнодорожного подвижного состава. При диаметре $D = 950$ мм и осевой нагрузке 20 т его деформация составляет $5 \cdot 10^{-6}$ мм/кг.

Принимаем, что деформация кранового колеса пропорциональна его диаметру при действии одинаковых нагрузок. При колесной нагрузке 100 кН имеем:

- для колеса $D = 500$ мм $\Delta y_{mk} = 2,6 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 0,026$ мм;
- для колеса $D = 700$ мм $\Delta y_{mk} = 3,7 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4 = 0,037$ мм.

Суммарная величина упругого относительного перемещения центра колеса и оси рельса равна: $\Delta y = \Delta y_{mp} + \Delta y_{mk}$

- для рельсов КР 70 и КР 80 $\Delta y = 0,134 + 0,026 = 0,16$ мм;
- для рельсов КР 100 и КР 120 $\Delta y = 0,114 + 0,038 = 0,15$ мм.

Контактная жесткость пружины G_k , исходя из вычисленных местных и контактных деформаций, равна:

- для рельсов КР 70 и КР 80 $G_k = 100 / 0,016 = 6250$ кН/см;
- для рельсов КР 100 и КР 120 $G_k = 100 / 0,015 = 6670$ кН/см.

Взаимодействие рельса с упругим основанием происходит на участке условной длины распределения l_{ef} , поэтому примем приведенную массу пути m_{np} равной массе кранового рельса длиной l_{ef} . Для упрощения расчетов l_{ef} принимаем толщину стенки подкрановых балок равной 10 мм для всех типов рельсов. Исходя из принятых предпосылок имеем для рельсов:

КР 70 $m_{np} = 17$ кН/см; КР 80 $m_{np} = 24$ кН/см; КР 100 $m_{np} = 41$ кН/см;

КР 120 $m_{np} = 65$ кН/см.

Податливость упругого основания, на который опирается крановый рельс, описывается выражением [1]:

$$k = 0,28 \cdot 10^4 \frac{\sqrt[3]{t^4}}{\sqrt[3]{I_p}} \text{ кН/см}^2, \quad (6)$$

где t – толщина стенки балки;

I_p – момент инерции рельса на изгиб.

Из выражения (6) следует, что податливость системы «рельс–балка» зависит от толщины стенки балки и от момента инерции рельса на изгиб. Погонная контактная жесткость рельсового основания равна $G_{p,o} = kt$, кН/см, и изменяется в диапазоне $G_{p,o} = 165\text{--}500$ кН/см в зависимости от толщины стенки балки и типа рельса.

Сравнение жесткостных характеристик кранового колеса G_k и рельсового основания $G_{p,o}$ показывает, что $G_k \gg G_{p,o}$. Следовательно, при решении динамической задачи податливостью упругого основания можно пренебречь.

Подставив значения $m_{\text{пр}}$ и G_k в формулу (3), вычислим силы взаимодействия колеса и рельса, используя значения $m_{\text{пр}}$ для рельсов «легкого» (КР 80) и «тяжелого» (КР 120) типа:

- для рельсов КР 70 и КР 80 $P_{\text{уд},\max} = 387 V_{\text{уд}}$ кН/с; (7)
- для рельсов КР 100 и КР 120 $P_{\text{уд},\max} = 662 V_{\text{уд}}$ кН/с.

Значение $V_{\text{уд}}$ для представленных на рис. 3 схем может быть найдено как составляющая скорости движения колеса мостового крана V [8]. При этом считаем, что каждая из рассматриваемых схем проявляется в отдельности, хотя фактически возможно их сочетание.

Для случая «зазор», согласно рис. 3, а, имеем:

$$V_{\text{уд}} = V \operatorname{tg} \gamma = V \delta / D, \quad (8)$$

где γ – угол, характеризующий перелом рельсовой нити в зоне стыка;

D – диаметр колеса крана;

V – скорость движения крана.

Из формулы (8) следует, что чем меньше диаметр колеса, тем больше величина динамического удара при заданной скорости движения V и величине зазора δ , следовательно, чем выше скорость движения мостового крана, тем меньше должен быть безопасный зазор в стыке.

Скорость движения мостовых кранов общего назначения группы режима 7К, согласно¹, изменяется в пределах 100–120 м/мин. Тогда, например, при скорости крана $V = 50$ м/мин = 83 см/с ударный импульс при зазоре $\delta = 20$ мм для рельсов «легкого» типа будет равен $P_{\text{уд},\max} = 1285$ кН/с. Этот импульс воспринимается опорной конструкцией моста крана и крановым рельсом.

Если при движении колеса по стыку встречается «ступенька» высотой h , то скорость соударения равна:

$$V_{\text{уд}} = V \operatorname{tg} \gamma = V l / (0,5 D - h), \quad (9)$$

где l – расстояние между точками контакта колеса с рельсом (см. рис. 3, б).

Обследования подкрановых путей показали, что максимальная величина зазора в стыках не превышает 30–40 мм (при зазоре более 40 мм делается вставка из рельса). Тогда, воспользовавшись формулой (8) при $\delta = 40$ мм и диаметрами колес из табл. 1, получим максимальные скорости соударения колеса и рельса:

- рельсы КР 70 и КР 80 $V_{уд} = 0,08V$;
- рельсы КР 100 и КР 120 $V_{уд} = 0,057V$.

Рассмотрим влияние «ступеньки» на величину ударного импульса.

При $l = 40$ мм и высоте уступа $h = 10$ мм из (9) имеем:

- рельсы КР 70 и КР 80 $V_{уд} = 0,17V$;
- рельсы КР 100 и КР 120 $V_{уд} = 0,12V$.

Из сопоставления скоростей соударения в «зазоре» и «ступеньке» следует, что наиболее неблагоприятным дефектом стыка является «ступенька». Из полученных выражений следует, что чем выше скорость движения мостового крана, тем меньше должна быть безопасная величина дефекта.

Разрушение рельсов в стыках происходит по подголовочной зоне. Поэтому при вычислении допустимой величины зазора δ за безопасную величину $P_{уд, max}$ может быть принята вертикальная нагрузка F , которая вызывает в подголовочной зоне рельса напряжения, равные пределу выносливости рельсовой стали R_v .

Условие усталостной прочности подголовочной зоны рельса записывается в виде [7]:

$$\sigma_y = \sigma_y^F + \sigma_y^M + \sigma_y^T \leq R_v. \quad (10)$$

Так как в расчетах учитывается только вертикальная составляющая крановых нагрузок, примем $\sigma_y^T = 0$ и тогда условие (10) примет вид:

$$\sigma_y = \sigma_y^F + \sigma_y^M \leq R_v, \quad (11)$$

где $\sigma_y^F = FK_1A$ – напряжения в подголовочной зоне рельса от вертикальной крановой нагрузки;

$\sigma_y^M = 1,4FeK_2B$ – напряжения от местного изгиба шейки рельса, вызванные эксцентричным приложением вертикальной нагрузки к головке рельса; параметры A и B вычисляются по формулам (12) и представлены в табл. 2 :

$$A = \frac{1}{2b_1} \sqrt[4]{\frac{b_{ш}}{4h_{ш}J_{rz}}}, \quad B = \frac{1}{b_1^2} \sqrt{\frac{b_{ш}^3}{h_{ш}J_{rz}}}, \quad (12)$$

где b_1 , $b_{ш}$ и $h_{ш}$ – параметры шейки рельса (см. рис. 5);

J_{rz} – момент инерции головки рельса на изгиб;

R_v – предел выносливости рельсовой стали при ударных воздействиях.

Таблица 2

Коэффициент	Типы рельсов						
	КР 70	КР 80	КР 100	КР 120	P-43	P-50	P-65
$A, \text{ см}^{-2}$	0,044	0,034	0,025	0,016	0,058	0,051	0,038
$B, \text{ см}^{-3}$	0,026	0,017	0,011	0,008	0,025	0,025	0,014

На основании выполненных исследований [7] и следуя рекомендациям [9], значение предела выносливости может быть принято равным $R_v = 41 \text{ кН/см}^2$.

Решив относительно F выражение (11), получим:

$$P_{\text{уд. max}} \leq F = \frac{R_v}{(K_1 A + 1,4e K_2 B)}. \quad (13)$$

Вычислим значение F при следующих параметрах: $R_v = 41 \text{ кН/см}^2$; $K_1 = 1,2$, $K_2 = 1,05$ – коэффициенты концентрации напряжений в подголовочной зоне рельса соответственно при сжатии и изгибе; e – эксцентриситет действия вертикальной нагрузки на головку рельса, равный $e = 15 \text{ мм}$ для рельсов «легкого» типа и $e = 25 \text{ мм}$ для рельсов «тяжелого» типа. Расчеты показывают, что среднее предельное значение вертикальной колесной нагрузки на рельсы «легкого» типа из условия усталостной прочности подголовочной зоны в месте неперекрытого стыка кранового пути равно $F = 450 \text{ кН}$.

Сравнивая полученную величину F с вычисленным ранее значением $P_{\text{уд. max}}$, видим, что безопасная величина зазора должна быть снижена в 2,8 раза, т.е. до 7 мм для рельсов «легкого» типа. Следовательно, расчетные значения величины зазора должны быть значительно ниже фактических.

Таким образом, наличие в стыках крановых рельсов дефектов в виде «зазора» или «ступеньки» приводит при прохождении колес мостового крана к появлению значительных по величине ударных импульсов, величина которых существенно превосходит нагрузку, вызывающую усталостные разрушения рельса в подголовочной зоне. Исключить или уменьшить подобные разрушения можно путем снижения усилий взаимодействия между элементами системы «кран – подкрановый путь» [3], или перехода на сварные стыки, имеющие прочностные характеристики не ниже прочности основного металла крановых рельсов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сабуров В.Ф. Особенности совместной работы крановых рельсов и подкрановых балок в подкрановых путях производственных зданий // Изв. вузов. Строительство. 1995. № 12. С. 8–13.
2. Сабуров В.Ф. Напряженное состояние крановых рельсов и стенки подкрановых балок в зоне стыка рельса // Сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. «Наука и инновации в современном строительстве – 2007». СПб., 2007. С. 152–156.
3. Васюта Б.Н., Чалков Г.В. О тенденциях и противоречиях развития подкрановых конструкций // Монтажные и специальные работы в строительстве. 2007. № 4. С. 4–10.
4. Ерёмин К.И., Шульга С.Н. Закономерности повреждений подкраново-подстропильных ферм на стадии эксплуатации // Промышленное и гражданское строительство. 2013. № 4. С. 34–36.
5. Данилов В.Н. Расчет рельсовой нити в зоне стыка. М.: Транспорт, 1953. 112 с.
6. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Наука, 1976. 608 с.
7. Сабуров В.Ф. Закономерности усталостных повреждений и разработка метода расчетной оценки долговечности подкрановых путей производственных зданий: дис. ... д-ра техн. наук. Челябинск, 2002. 388 с.
8. Барабшин В.Ф., Ананьев Н.И. Повышение стабильности пути в зоне рельсового стыка. М.: Транспорт, 1978. 46 с.

9. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени. М.: Машиностроение, 1993. 364 с.

Сабуров Валерий Федорович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: saburov_skiis@mail.ru
Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Получено после доработки 29.01.16

Saburov Valeriy Fedorovich, DSc, Professor
South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

INFLUENCE OF THE JOINT OF THE CRANE RAIL ON THE WORK OF CRANE RUNWAYS OF INDUSTRIAL BUILDINGS

The problem of the fatigue life of undercrane structures remains relevant nowadays. In the article is studied the question about the effect of behavior of the rail in the not overlapped splice bar of junction area on the durability of the system «Crane rail – Undercrane structures». During the operation in this zone can appear such defects of crane runway as «gap» and «stair». When passing through a joint of wheels of a bridge crane there are significant largest dynamic loads that cause the destruction of the crane rail and have a negative impact on the durability of the upper wall zone of crane beams. In this article was solved the problem of dynamic interaction of the crane wheel with crane rail which based upon wall of undercrane beam as an elastic foundation. Were obtained the values of the dynamic momentum during passage of the crane wheels through these defects and were given the recommendations for the appointment the secure value of the gap and stair from the condition of fatigue strength of rail web zone.

К e y w o r d s: industrial buildings, crane runways, crane rails, joint of the crane rail, defects of a joint.

REFERENCES

1. Saburov V.F. Osobennosti sovmestnoy raboty kranovykh rel'sov i podkranovykh balok v podkranovykh putyakh proizvodstvennykh zdaniy [Features of teamwork of crane rails of undercrane girders and crane ways in industrial buildings]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1995. No. 12. Pp. 8–13. (in Russia)
2. Saburov V.F. Napryazhennoe sostoyanie kranovykh rel'sov i stenki podkranovykh balok v zone styka rel'sa [Stress state of crane rails and wall of crane girders at the zone of rail junction]. Sbornik materialov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Nauka i innovatsii v sovremennom stroitel'stve – 2007» [Proceedings of the scientific-practical conference «Science and Innovation in modern construction – 2007»]. St.-Petersburg, 2007. Pp. 152–156. (in Russia)
3. Vasyl'uta B.N., Chalkov G.V. O tendentsiyakh i protivorechiyakh razvitiya podkranovykh konstruktsiy [Trends and contradictions of undercrane structures development]. Montazhnye i spetsial'nye raboty v stroitel'stve [Assembly and special works in construction]. 2007. No. 4. Pp. 4–10. (in Russia)
4. Eremin K.I., Shulgina S.N. Zakonomernosti povrezhdeniy podkranovo-podstropil'nykh ferm na stadii ekspluatatsii [Patterns of damages of undercrane and supporting trusses during the operational phase]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil construction]. 2013. No. 4. Pp. 34–36. (in Russia)
5. Danilov V.N. Raschet rel'sovoy niti v zone styka [Calculation of the rail thread at the junction zone]. M., Transport, 1953. 112 p. (in Russia)

6. Belyaev N.M. Soprotivlenie materialov [Strength of materials]. Moscow, Nauka, 1976. 608 p. (in Russia)
 7. Saburov V.F. Zakonomernosti ustalostnykh povrezhdeniy i razrabotka metoda raschetnoy otseki dolgovechnosti podkranovykh putey proizvodstvennykh zdaniy: dis. ... doct. tekhn. nauk [Consistent patterns of fatigue damage and the development of a method of estimation of durability of crane runways of industrial buildings. The dissertation on competition of a scientific degree of doctorate of technical sciences]. Chelyabinsk, 2002. 388 p. (in Russia)
 8. Baraboshin V.F., Anan'ev N.I. Povyshenie stabil'nosti puti v zone rel'sovogo styka [Improving of stability of the path in the zone of the rail junction]. Moscow, Transport, 1978. 46 p. (in Russia)
 9. Kogayev V.P. Raschety na prochnost' pri napryazheniyakh, peremennykh vo vremeni [Calculations of strength for voltages which variable during some time]. Moscow, Mashinostroenie, 1993. 364 p. (in Russia)
-

УДК 624.011.2

В.И. ЖАДАНОВ, И.С. ИНЖУТОВ, Д.А. УКРАИНЧЕНКО,
И.И. ЯРИЧЕВСКИЙ

О НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ РЕЗЕРВАХ В ПРОЕКТИРОВАНИИ ПАНЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ ДЕРЕВЯННОГО КАРКАСА

Приведены рекомендации по конструированию и расчету панельных конструкций на основе деревянного каркаса, реализация которых обеспечивает существенную экономию материальных и трудовых ресурсов. Рассмотрены характерные типы поперечных сечений панелей. Проведен анализ зависимости количества основных несущих ребер и зон расположения обшивок на расход древесины на панель в целом. Показана целесообразность применения облегченных конструкций ребер в большепролетных панелях, а также эффективность включения обшивок в общую работу панелей на восприятие внешних нагрузок. Приведены преимущества и недостатки ориентации вспомогательных ребер вдоль или поперек пролета панели. Рассмотрен способ совершенствования расчета сжатых обшивок на устойчивость.

Ключевые слова: панель, деревянный каркас, несущие и вспомогательные ребра, обшивка, конструирование, расчет, устойчивость, эффективность.

Панельные конструкции на деревянном каркасе широко применяются в отечественном и зарубежном строительстве в качестве несущих и ограждающих элементов в покрытиях, перекрытиях и стеновых ограждениях [1–3]. При пролетах до 6,0 м опорами для них служат стропильные конструкции в виде балок, ферм, арок или несущие стены. При пролетах более 6,0 м такие панели целесообразны как конструкции «на пролет» с опиранием на колонны или на подстропильные элементы [4–6]. В качестве обшивок используют, как правило, различные листовые материалы: плоский асбестоцемент, фанеру, OSB, LVL и им подобные, которые объединяют с деревянным каркасом посредством клея (жестко) или на податливых связях (скобы, винты и др.).

В расчетном отношении панельные конструкции представляют собой однопролетные элементы, которые рассчитывают по балочной схеме. Внешние нагрузки воспринимаются только деревянными ребрами в случае гвоздевого соединения обшивок с каркасом или ребрами и обшивками, когда последние приклеиваются к деревянным ребрам. В этом случае геометрические характеристики поперечного сечения определяют по методу приведенного сечения с учетом рекомендаций СП 64.13330.2011 «Деревянные конструкции». Характерные типы панельных конструкций на деревянном каркасе показаны на рис. 1.

Комплексный анализ конструктивных решений и нормативной методики расчета рассматриваемого класса конструкций, изложенной в СП 64.13330.2011, позволил авторам выявить потенциальные резервы, использование которых при проектировании панельных конструкций на деревянном

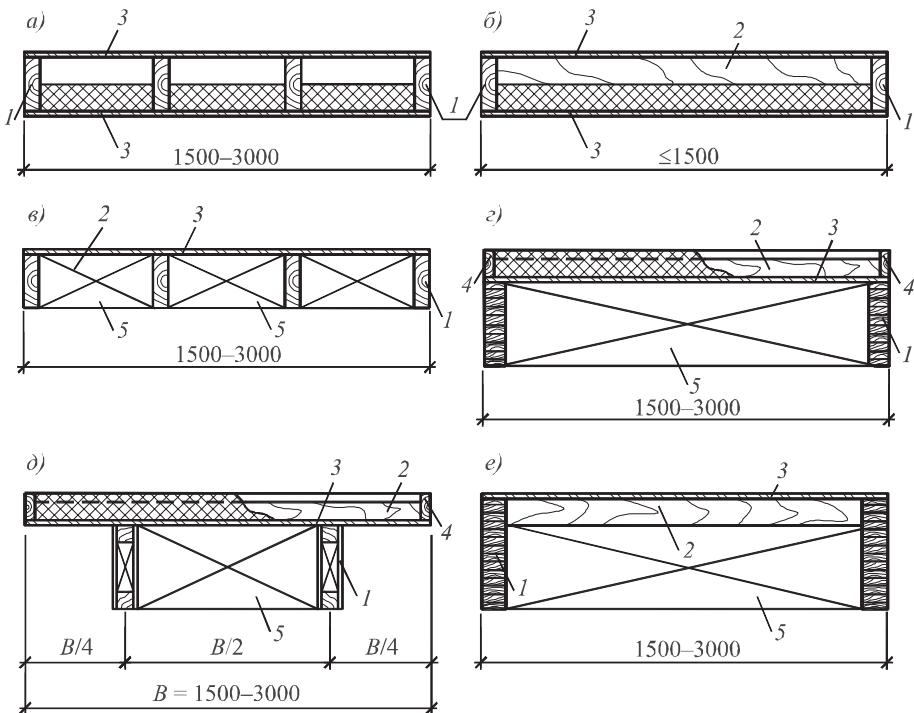


Рис. 1. Характерные типы поперечных сечений панельных конструкций на деревянном каркасе

а – с четырьмя ребрами и двусторонними обшивками для отапливаемых зданий; б – то же, с двумя ребрами; в – часторебристая панель для холодных зданий; г – с двумя ребрами и односторонней верхней обшивкой для отапливаемых зданий; д – то же, с клееванерными ребрами и поперечным сечением в виде 2Т; е – с двумя ребрами и односторонней верхней обшивкой для холодных зданий

1 – основные ребра; 2 – вспомогательные ребра; 3 – обшивки; 4 – обрамляющие элементы; 5 – диафрагмы

каркасе может привести к существенной экономии как материальных, так и трудовых ресурсов.

1. В качестве основных несущих элементов панельных конструкций рекомендуется принимать два продольных ребра. Это снизит расход древесины на ребра и на конструкцию в целом по сравнению с часторебристыми плитами. Например, при проектировании типовой панели (см. рис. 1, а) под расчетную нагрузку 3,0 кН/м² пролетом 6,0 м только замена четырех ребер из цельной древесины поперечным сечением 44×169 мм на два ребра такой же ширины (при условии равенства геометрических характеристик с учетом работы фанерной обшивки) обеспечит экономию древесины на 30–35 %. Такой эффект в панелях пролетом 9,0 м и более будет еще более ощутимым.

2. В крупноразмерных панелях (пролетом 9,0–24,0 м, шириной 1,5–3,0 м) для основных ребер целесообразно использовать не клеедощатые сплошные элементы, а другие конструкции с рациональной формой поперечного сечения, например, клееванерные балки двутаврового или коробчатого поперечного сечения, деревометаллические балки со стенкой из стальных

профилированных листов, сквозные элементы и т.п. [7]. В этом случае проектировщику необходимо учитывать региональные особенности конструирования панели, выражющиеся в оценке уровня строительной индустрии региона и сложившегося соотношения цен на различные материалы, что в итоге позволит дать комплексную технико-экономическую оценку проектируемых конструкций.

3. Обшивки панелей целесообразно выполнять из листов водостойкой фанеры или аналогичных листовых материалов толщиной не менее 10 мм (верхняя сжатая обшивка) и 6 мм (нижняя растянутая обшивка) и приклеивать их к ребрам каркаса. В этом случае обшивки в наибольшей мере вовлекаются в общую пространственную работу панели, образуя совместно с ребрами П-образное или в виде двойного Т поперечное сечение. Включение обшивки в работу существенно (на 35–60 %) увеличивает моменты инерции и сопротивления поперечных сечений ребристых конструкций, что и приводит к экономии материала. Поперечное сечение в виде двойного Т обеспечивает наиболее равномерное распределение нормальных сжимающих, а также изгибных напряжений в обшивке, которые возникают при общем изгибе плиты и действии на обшивку равномерно распределенной снеговой, ветровой или сосредоточенной монтажной нагрузок. Кроме того, П-образное поперечное сечение в наибольшей степени отвечает требованию формостойкости (неповреждаемости) конструкции, что особенно важно для районов Урала, Сибири, Дальнего Востока и Севера, характеризующихся рассредоточением строительных объектов, а также для других случаев, когда возникают трудности, связанные с транспортировкой панелей к месту строительства.

4. В крупноразмерных панелях можно и нужно отказаться (за исключением особых случаев) от обшивки, располагаемой в растянутой зоне поперечного сечения. В частности, в случае применения фанерной обшивки конструктор, в связи с возможным непроклеем стыков листов, вынужден на 40 %, по требованиям СП 64.13330.2011, увеличивать расход фанеры, что явно невыгодно. Например, отказ от нижней обшивки в конструкции по рис. 1, а, запроектированной для отапливаемых зданий, и переход на тип поперечного сечения по рис. 1, г с четырьмя продольными ребрами, позволяет сократить расход фанеры на панель на 38 % при незначительном увеличении расхода древесины (на 4 %). Кроме того, отказ от нижней обшивки дает возможность располагать основные несущие ребра вне толщи утеплителя, открыто, что делает их доступными для осмотра и способствует быстрому проветриванию в случае увлажнения. Варианты поперечных сечений таких панелей показаны на рис. 1, г–е. Размещение утеплителя внутри плиты на нижней обшивке между ребрами ухудшает эксплуатационную надежность конструкций, так как возможное накопление влаги в толще утеплителя может привести к загниванию ребер, если не будет вентиляции в межреберном пространстве.

Как альтернативный может быть рассмотрен вариант применения для нижней обшивки вместо фанеры листов LVL, которые изготавливают длиной до 18,0–24 м. В этом случае необходимость в стыке листов по длине отпадает и обшивка будет принимать полноценное участие в общей работе конструкции. Соответственно и верхняя обшивка панели должна быть

зaproектирована из аналогичных листов. Целесообразность такого варианта определяется экономическим обоснованием с учетом регионального уровня цен на применяемые материалы.

5. Для обеспечения прочности, жесткости и устойчивости фанерных обшивок в крупноразмерных плитах и панелях с двумя основными ребрами необходимо предусматривать вспомогательные элементы, которые целесообразно располагать в местахстыкования фанеры по длине и ширине, а также, при необходимости, в середине пролета отдельных листов (рис. 2).

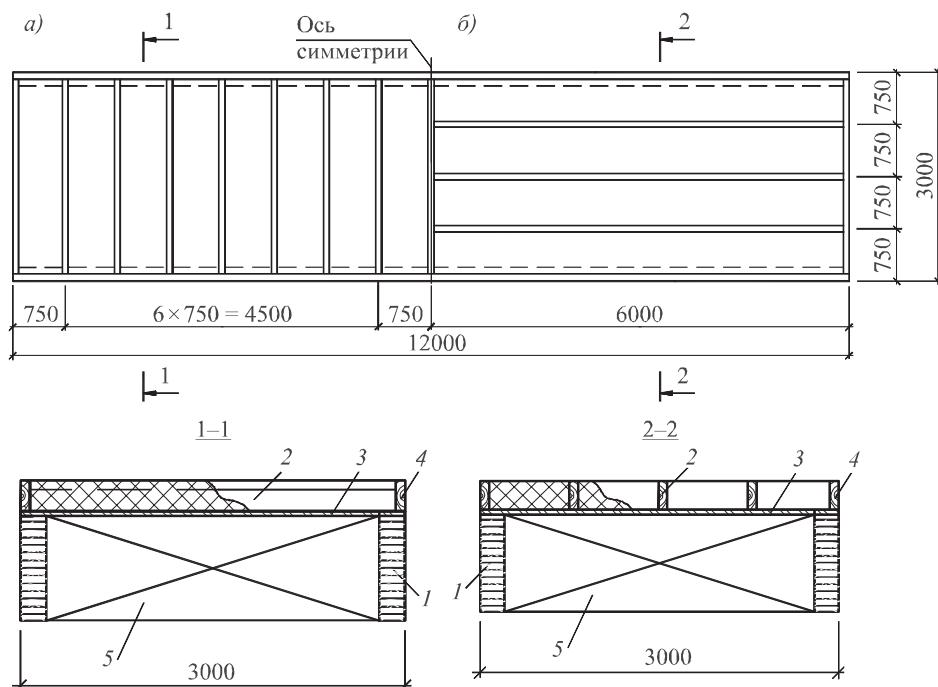


Рис. 2. Конструктивные решения панелей с односторонней обшивкой и с ориентацией вспомогательных ребер поперек (а) или вдоль (б) пролета панели

1 – основные ребра; 2 – вспомогательные ребра с ориентацией поперек или вдоль пролета панели; 3 – обшивка; 4 – обрамляющие элементы; 5 – диафрагмы

При выборе ориентации вспомогательных ребер вдоль или поперек пролета следует учитывать, что их расположение вдоль пролета является более целесообразным с точки зрения обеспечения устойчивости обшивки и увеличения степени ее участия в общей работе конструкции. Конструкции с поперечными вспомогательными ребрами проще в изготовлении, применение их упрощает устройство кровли из волнистых асбестоцементных или профилированных листов. Кроме того, работа обшивок при оправлении на четыре стороны и неразрезность экономят материал обшивок. Характер распределения нормальных напряжений в сжатой обшивке в зависимости от ориентации вспомогательных ребер и соответствующие значения коэффициентов участия обшивки и вспомогательных ребер в общей работе панели приведены на рис. 3.

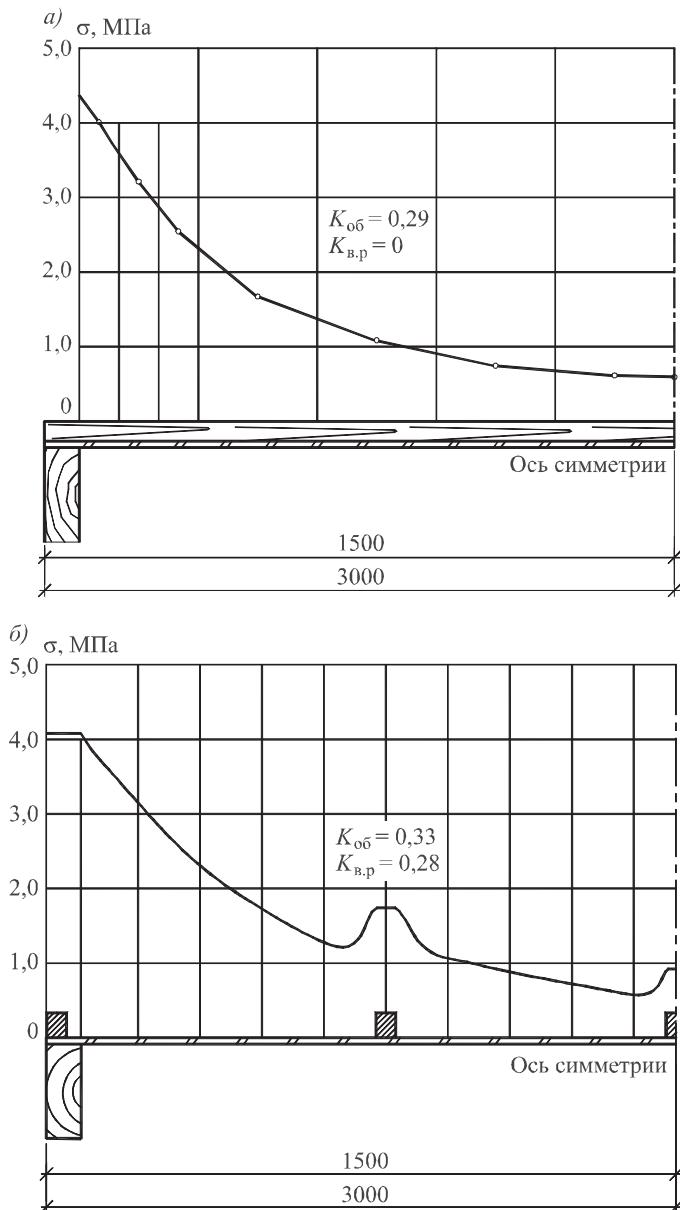


Рис. 3. Характер распределения нормальных напряжений в сжатой обшивке в зависимости от ориентации вспомогательных ребер поперек (а) и вдоль (б) пролета панели

6. В соответствии с требованиями СП 64.13330.2011 верхняя сжатая обшивка клееванерной панели (рис. 4) должна быть проверена на прочность с учетом возможной потери устойчивости по формуле:

$$\sigma_{\phi.c} = \frac{M}{\varphi_{\phi} W_{\text{пр}}} \leq R_{\phi.c}, \quad (1)$$

или в наиболее общем виде:

$$\sigma_{\phi.c} = \frac{M}{\varphi_{\phi} J_{\text{пр}}} (h_{\text{пл}} - y_0) \leq R_{\phi.c}, \quad (2)$$

где ϕ_{ϕ} – коэффициент продольного изгиба, учитывающий возможную потерю устойчивости фанерной обшивки и определяемый в зависимости от отношения расстояния между ребрами панели в свету к толщине обшивки δ_{ϕ} в соответствии с рекомендациями п. 6.28 СП 64.13330.2011.

Такой подход в обязательном нормативном документе приводит к неоправданному перерасходу материалов на проектируемые панели и не отражает реальную работу элементов конструкции. Приведем конкретный пример для панели пролетом 12,0 м с поперечным сечением (см. рис. 2, а и рис. 4).

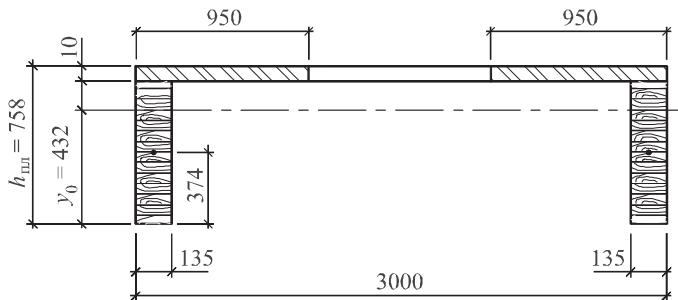


Рис. 4. Расчетное поперечное сечение панели пролетом 12,0 м для сопоставительного расчета под расчетную нагрузку 7,2 кН/м

При шаге вспомогательных ребер 750 мм и толщине обшивки 10 мм коэффициент ϕ_{ϕ} равен 0,25. Расчетный изгибающий момент составит 129,6 кН·м. Приведенный момент инерции поперечного сечения, определенный с учетом работы обшивки в общей работе панели на поперечный изгиб с коэффициентом участия $k = 0,63$ (п. 6.27 / 7 /), будет равен $J_{np} = 1316\ 434 \text{ см}^4$. Тогда по формуле (2) нормальные напряжения в верхней обшивке составят 12,9 МПа при расчетном сопротивлении фанеры сжатию $R_{\phi,c} = 12 \text{ МПа}$, т.е. для выполнения требований норм необходим перерасчет поперечного сечения с увеличенными размерами поперечного сечения продольных ребер.

Исключим обшивку из общей работы панели, например, предусмотрев ее крепление к деревянному каркасу без клея при помощи гвоздевого прижима. Тогда нормальные напряжения будут восприниматься только продольными ребрами и требуется их расчет на изгиб. Момент инерции деревянных ребер составит $J_{d,p} = 941\ 645 \text{ см}^4$. При всех других одинаковых параметрах напряжения в ребре будут равны 5,2 МПа при расчетном сопротивлении древесины изгибу $R_{d,i} = 13,7 \text{ МПа}$. Проверка не только выполняется, но даже необходимы корректировки размеров поперечного сечения ребер в сторону уменьшения.

Получается абсурд – включение обшивки в общую работу панели не улучшает, а ухудшает ее работу на восприятие проектных нагрузок, несмотря на то что геометрические характеристики поперечного сечения за счет работы фанеры увеличиваются практически на 40 %. Этот абсурд легко устраняется введением в нормы откорректированной формулы (2). Она должна быть записана таким образом, чтобы коэффициент продольного изгиба ϕ_{ϕ} уменьшал долю участия в общей работе панели только обшивки, а не об-

шивки с деревянными ребрами. Это и логически объясняется характером работы продольных ребер на поперечный изгиб, когда устойчивость из плоскости они не потеряют. С учетом вышеизложенного формулу (2) необходимо записать в виде:

$$\sigma_{\phi,c} = \frac{M}{(nJ_{o,p} + \varphi_{\phi} J_{v,\phi})} (h_{pl} - y_0) \leq R_{\phi,c}, \quad (3)$$

где $n = E_d/E_{\phi}$ – коэффициент приведения древесины к фанере;

$J_{o,p}$ – момент инерции основных несущих ребер;

$J_{v,\phi}$ – момент инерции верхней фанерной обшивки.

Обоснованность расчета проверена соответствующими экспериментами, проведенными авторами и на крупноразмерных моделях, и натурных конструкциях [8, 9]. Предложенный корректив необходимо внести в действующие нормативные документы, что позволит повысить эффективность клееванерных панельных конструкций.

Не вызывает сомнений и эффективность такого конструктивного приема, как обеспечение устойчивости сжатой обшивки до достижения конструкцией предельного состояния. Это возможно, например, за счет увеличения толщины обшивки, постановки вспомогательных ребер с шагом, достаточным для обеспечения устойчивости обшивки [4, 9]. При проектировании большепролетных панельных конструкций (пролетом 12,0 м и более) этот вопрос становится особенно актуальным, если учесть, что даже в самом благоприятном случае при шаге вспомогательных ребер $a_{o,p} \approx 0,75$ м (см. рис. 2) и толщине обшивки, например, $\delta_{\phi} = 10$ мм, коэффициент φ_{ϕ} будет равен 0,23, т.е. учет этого коэффициента приводит к увеличению расчетного напряжения в 4,3 раза, что резко снижает эффективность большепролетных конструкций.

Предложенные конструктивные и расчетные рекомендации раскрывают потенциальные резервы, способствующие достижению существенной экономии как материальных, так и трудовых ресурсов. Вместе с тем есть и другие аспекты, за счет которых конструктивные решения панельных конструкций на деревянном каркасе могут быть усовершенствованы. Например, альтернативным решением является использование, взамен листовых фанерных или им подобных, обшивок из брусков малых сечений (40×40 мм, 50×40 мм) или из узких реек ($b \leq 100$ мм), склеенных по кромкам между собой и с каркасом плит. Дощатые обшивки могут быть продольными (что предпочтительнее) или двухслойными перекрестными из реек, расположенных под углом 45° к основным ребрам и склеенных с ними и друг с другом.

Для плит над неотапливаемыми помещениями может оказаться целесообразным применение в качестве обшивок профилированных листов, скрепленных с ребрами и диафрагмами на саморезах или дюбелях-гвоздях.

С точки зрения уменьшения трудозатрат и общей стоимости конструкции представляется целесообразным утепление панельных конструкций, особенно большепролетных, с применением эффективных несгораемых утеплителей – заливочных пенопластов, минваты и т.д. В этом случае ограждающую часть панелей необходимо конструировать в виде замкнутого

короба, который образуют обшивка и обрамляющие элементы [10]. Тогда соединение утеплителя с обшивкой и мягкой кровлей из слоя стеклоткани и слоя рулонного гидроизоляционного материала будет достигнуто сразу при вспенивании заливочных пенопластов в полости конструкции (другие слои гидроизоляционного ковра будут наклеены на стройплощадке). Стеклоткань, пропитанная отвердевшей смолой, образует достаточно жесткое основание, необходимое для устройства мягкой кровли, она резко увеличивает прочность пенопласта на смятие при действии на гидроизоляционный ковер сосредоточенных нагрузок. Кровля с плитными и мягкими утеплителями конструируется в соответствии с требованиями к материалам и типовыми решениями.

Несомненно, что принятие конструктивного решения должно учитывать технические и технологические возможности региона строительства, опираться на соответствующее технико-экономическое обоснование. Комплексный учет всех вышеизложенных рекомендаций обеспечит повышение эффективности строительства из дерева и его конкурентоспособность.

Выводы. 1. Анализ конструктивных решений и нормативной методики расчета панельных конструкций на деревянном каркасе выявил возможные резервы, использование которых при проектировании приводит к существенной экономии как материальных, так и трудовых ресурсов.

2. Для повышения эффективности панельных конструкций на деревянном каркасе проектировщикам необходимо руководствоваться перечисленными рекомендациями с учетом региональных особенностей района строительства.

3. Принципы расчета сжатых обшивок на устойчивость необходимо отразить в действующих нормативных документах по расчету деревянных конструкций, в частности, в СП 64.13330.2011.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берковская Д.А., Касабян Л.В. Клееные деревянные конструкции в зарубежном и отечественном строительстве. М.: ЦНИИС, 1997. 108 с.
2. Линьков И.М., Кузнецов П.С. Конструктивные решения плит покрытия длиной 6 м с деревянным каркасом // Исследование несущих и ограждающих конструкций из kleenой древесины и фанеры. М.: ЦНИИСК, 1976. С. 49–58.
3. Пятитретовский К.П. Вопросы дальнейшего совершенствования конструкций с применением древесины и новых плитных материалов // Пространственные конструкции: сб. тр. РААСН. 2007. № 9. С. 49–51.
4. Жаданов В.И., Столповский Г.А., Украинченко Д.А. Конструктивно-технологическая система для малоэтажного домостроения на основе энергоэффективных деревянных панелей. Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2014. 208 с.
5. Барков М.С., Никитин В.М., Еромолин В.Н. Формообразование больших-пролетных покрытий общественных зданий и сооружений с применением двухскатных kleедощатых элементов // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. 2012. № 1. С. 100–105.
6. Дмитриев П.А., Стрижаков Ю.Д., Жаданов В.И., Инжутов И.С. Пространственные индустриальные конструкции для покрытий зданий // Изв. вузов. Строительство и архитектура. 1989. № 2. С. 23–27.
7. Калинин С.В., Украинченко Д.А. Особенности напряженно-деформированного состояния деревометаллических балок со стенкой из стальных профилированных листов // Вестн. ОГУ. Оренбург, 2012. С. 57–62.

8. Инжутов И.С., Деордиеv С.В. Конструкция и результаты испытаний трехгранной деревометаллической блок-фермы // Изв. вузов. Строительство. 1998. № 10. С. 129–134.
9. Жаданов В.И. Экспериментально-теоретические исследования клееванерных ребристых плит П-образного сечения, работающих при поперечном изгибе // Изв. вузов. Строительство. 2003. № 4. С. 108–112.
10. Жаданов В.И., Савойский В.М., Стрижаков Ю.Д. Опыт изготовления клееванерных плит с длиной на пролет // Пространственные конструкции в Красноярском крае. Красноярск: КПИ, 1985. С. 172–179.

Жаданов Виктор Иванович, д-р техн. наук, проф., советник РААСЧ; E-mail: organ-2003@bk.ru

Оренбургский государственный университет

Инжутов Иван Семенович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: ivaninzhutov@gmail.com

Сибирский федеральный университет, г. Красноярск

Украинченко Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: 279372@mail.ru

Оренбургский государственный университет

Яричевский Илья Игоревич, инж.; E-mail: organ-2003@bk.ru

Оренбургский государственный университет

Получено после доработки 13.01.16

Zhadanov Victor Ivanovich, DSc, Professor, advisor of the RAACS; E-mail: organ-2003@bk.ru

Orenburg State University, Russia

Inzhutov Ivan Semenovich, DSc, Professor; E-mail: ivaninzhutov@gmail.com

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

Ukrainchenko Dmitriy Aleksandrovich, PhD, Ass. Professor; E-mail: 279372@mail.ru

Orenburg State University, Russia

Yarichevsky Il'ya Igorevich, Engineer; E-mail: organ-2003@bk.ru

Orenburg State University, Russia

ABOUT NOT USED RESERVES IN DESIGN OF THE PANEL CONSTRUCTIONS ON THE BASIS OF WOODEN FRAMEWORK

Here are provided the recommendations about design and calculation of the panel constructions on the basis of wooden framework which implementation provides essential saving of the material and work forces. Characteristic types of cross sections of panels are considered. The analysis of main bearing ribs number and zones of covering disposition on a wood consumption on the panel proportionality is carried out. Feasibility of application of the light-weight constructions of ribs in wide-span panels, and also efficiency of coverings inclusion in general work of panels on perception of external loadings is shown. Advantages and disadvantages of support ribs orientation along or across the span of a panel are given. The method of improvement of compressed coverings calculations on stability is considered.

К e y w o r d s: panel, wooden framework, bearing and support ribs, covering, designing, calculation, stability, efficiency.

REFERENCES

1. Berkovskaya D.A., Kasab'yan L.V. Kleenye derevyannye konstruktsii v zarubezhnom i otechestvennom stroitel'stve [Glued wooden constructions in foreign and domestic construction]. Moscow, 1997. 108 p. (in Russian)

2. Lin'kov I.M., Kuznetsov P.S. Konstruktivnye resheniya plit pokrytiya dlinoy 6 m s derevannym karkasom [Constructive solutions of 6 m length cover plates with a wooden framework]. Issledovanie nesushchikh i ogranazhdushchikh konstruktsiy iz kleenoy drevesiny i fanery [Research on the bearing constructions from glued wood and plywood]. Moscow, 1976. Pp. 49–58. (in Russia)
3. Pyatikrestovskiy K.P. Voprosy dal'neyshego sovershenstvovaniya konstruktsiy s primeneniem drevesiny i novykh plitnykh materialov [Questions of further improvement of constructions using wood and new slabby materials]. Prostranstvennye konstruktsii: sbornik trudov RAACH [Spatial constructions: collection of works RAACS (Russian academy of architecture and construction sciences)]. 2007. No. 9. Pp. 49–51. (in Russia)
4. Zhadanov V.I., Stolpovskiy G.A., Ukrainchenko D.A. Konstruktivno-tehnologicheskaya sistema dlya maloetazhnogo domostroeniya na osnove energoeffektivnykh derevyannykh paneley [Constructive and technological system for few-storey housing construction on the basis of power effective wooden panels]. Orenburg, JSC IPK University, 2014. 208 p. (in Russia)
5. Barkov M.S., Nikitin V.M., Yermolin V.N. Formoobrazovanie bol'sheproletnykh pokrytiy obshchestvennykh zdaniy i soorusheniye s primeneniem dvukhskatnykh kleedoshchatykh elementov [Shaping of wide-span coverings of public buildings and constructions using dual-pitch glued elements]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkitekturno-stroitel'nogo universiteta [Bulletin of Tomsk State Architectural and Construction University]. 2012. No. 1. Pp. 100–105. (in Russia)
6. Dmitriev P.A., Strizhakov Yu.D., Zhadanov V.I., Inzhutov I.S. Prostranstvennye industrial'nye konstruktsii dlya pokrytiy zdaniy [Spacious industrial constructions for building covering]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo i arkhitektura [News of Higher Educational Institutions. Construction and Architecture]. 1989. No. 2. Pp. 23–27. (in Russia)
7. Kalinin S.V., Ukrainchenko D.A. Osobennosti napryazhенно-deformirovannogo sostoyaniya derevometallicheskikh balok so stenkoy iz stal'nykh profilirovannykh listov [Features of the intense deformed status the beams made of wood and metal with a wall from steel ptofiled sheets]. Vestnik OSU. Orenburg, 2012. Pp. 57–62. (in Russia)
8. Inzhutov I.S., Deordiyev S.V. Konstruktsiya i rezul'taty ispytaniy trekhgranoy derevometallicheskoy blok-fermy [Structure and examination result of triangle wooden-metallik block-truss]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 1998. No. 10. Pp. 129–134. (in Russia)
9. Zhadanov V.I. Eksperimental'no-teoreticheskie issledovaniya kleefanernykh rebristykh plit P-obraznogo secheniya, rabotayushchikh pri poperechnom izgibe [Experimental and theoretical investigation of glued plywood rib plates of Π-like section operating under lateral bending]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2003. No. 4. Pp. 108–112. (in Russia)
10. Zhadanov V.I., Savoyskiy V.M., Strizhakov Yu.D. Opyt izgotovleniya kleefanernykh plit s dlinoy na prolet [Experience of manufacturing the glued plywood plates with a length equal to span]. Prostranstvennye konstruktsii v Krasnoyarskom krae [Spatial constructions in Krasnoyarsk Region]. Krasnoyarsk: KPI, 1985. Pp. 172–179. (in Russia)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ИЗДЕЛИЯ



УДК 691.542 : 539.4

С.А. ШАХОВ, Е.В. РОГОВА

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОЙ АКТИВАЦИИ НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА ЗОЛЬНОГО ЦЕМЕНТА

Актуальность работы обусловлена необходимостью утилизации многотоннажных отходов производства, а также требованием повышения качества строительных материалов.

Показана возможность применения золы осадка водоотведения в композиционных вяжущих на основе портландцемента в качестве активных и корректирующих добавок. Установлено, что при длительном хранении золы ухудшаются свойства цемента. Механическая активация позволяет увеличить удельную поверхность порошка в 1,2 раза, изменить структурную ориентацию частиц. Оптимальная длительность механоактивации золы в планетарной мельнице составляет 3 мин. Выделены факторы, затрудняющие применение высокодисперсной золы в качестве модифицирующей добавки в композиции с портландцементом: большинство частиц золы консолидированы в достаточно плотные агрегаты; традиционные методы дезагрегации с помощью механических воздействий неэффективны по отношению к объектам такого класса.

Ключевые слова: зола осадка водоотведения, высокодисперсная добавка, зольный цемент, механическая активация, пущолановая активность, агрегаты.

Современный этап развития строительного материаловедения основывается на регулировании структурообразования материала посредством введения синтезированных высокодисперсных модификаторов. Целесообразность использования тонкодисперсного техногенного сырья при изготовлении строительных материалов обусловлена как необходимостью утилизации многотоннажных отходов производства (золошлаковых смесей, пылей уноса, шлаков, отходов обогащения, вскрышных пород и т. д.), так и требованием повышения качества строительных материалов [1–6]. Такой добавкой может служить зола осадка водоотведения. Возможность ее применения в качестве добавки для получения цемента показана в работе [7]. Однако добавки осадка в цементные растворы ухудшают качество строительного материала при увеличении их содержания до 15 %. Кроме того, при длительном хранении золы происходит изменение свойств цемента, а именно уменьшается прочность при сжатии и удлиняются сроки схватывания.

вания до 23 %. По современным представлениям в значительной степени повышение реакционной способности порошков обусловлено уменьшением размеров частиц. Увеличение дисперсности практически всегда приводит к росту активности вяжущих, характеризуемой скоростью гидратации образцов [8]. В связи с этим целесообразна дополнительная активация золы длительного хранения.

Цель работы: определение влияния длительности механоактивации на прочностные свойства зольного цемента.

Материалы и методы. В работе механоактивации подвергалась зола осадков сточных вод. Активацию золы осуществляли при помощи планетарной мономельницы Пульверизетте-6. В качестве мелющих тел использовали стальные шары размером 2–10 мм. Соотношение массы измельчаемого материала к массе шаров составляло 1 : 30. Время активации 1–10 мин.

Гранулометрический состав определяли на фотоседиментометре ФСХ-6. Проба готовилась в виде малоконцентрированной суспензии путем смешивания порошка с дисперсионной жидкостью (дистиллированной водой). Для этого небольшую (порядка 0,1 г) порцию порошка предварительно тщательно размешивали с несколькими каплями дистиллированной воды до состояния пасты, затем слегка разбавляли ее до текучего состояния и переносили в кювету, предварительно заполненную дистиллированной водой. Возможности прибора позволяют измерять оптическую плотность зольной суспензии на уровне оптических щелей в заранее рассчитанные по закону Стокса моменты времени, соответствующие седimentации частиц заданных размеров. Изменения в процессе седиментации оптической плотности равносочены распределению площади поверхности частиц по размерам. По результатам измерения оптической плотности суспензии вычислялась массовая и частичная концентрация суспензии, производился расчет гранулометрического состава дисперсного материала. Электронные микрофотографии получили на электронном микроскопе Hitachi TM-1000, оснащенном энергодисперсионным детектором TM1000 EDS. Величину поглощения извести золой устанавливали методом капиллярного электрофореза.

Влияние механической активации золы на прочностные свойства зольного цемента оценивали по пределу прочности при сжатии на 3, 7, 28 сут твердения цементных образцов размером 2×2×2, которые формовали в шестиместной форме с последующим хранением в условиях естественной сушки при температуре воздуха 20 ± 2 °C и влажности 50 ± 5 % до проведения испытания. Образцы были изготовлены с добавлением 30 % неактивированной и механоактивированной золы длительного хранения.

Результаты и их обсуждение. Механическая активация приводит к структурным изменениям минералов золы и уменьшению размеров частиц, которое составляет 0,6–50 мкм. В результате механической активации золы удельная поверхность повысилась с 3665 до 4696 см²/г. Анализ влияния времени обработки в планетарной мельнице на пущолановую активность золы показал, что оптимальная продолжительность помола 3 мин. При дальнейшем увеличении времени активации не происходит существенного повышения активности золы, однако возрастают энерго затраты (рис. 1).

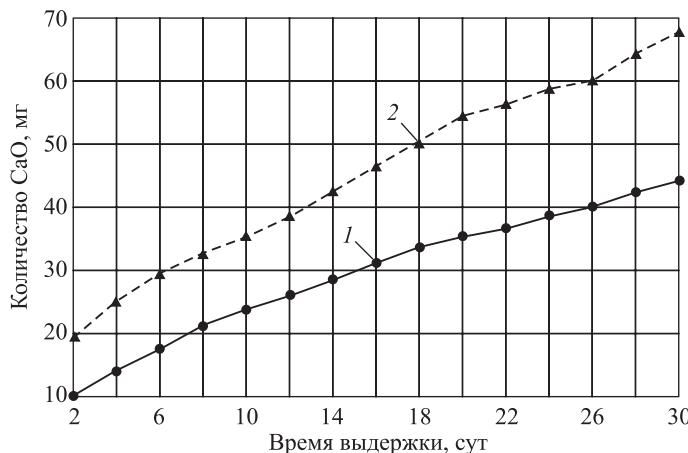


Рис. 1. Зависимость поглощения извести из раствора от времени

1 – исходная зола, 2 – механоактивированная зола

Увеличение количества связанный извести, видимо, вызвано образованием в механоактивированной золе полиморфной модификации глинозема $\gamma\text{-Al}_2\text{O}_3$, на возможность образования которой указано в работе Т.Е. Шоевой [9].

Влияние механической активации золы на прочностные свойства портландцемента представлены на рис. 2.

Несмотря на наличие пузирчатой активности из результатов, представленных на рис. 2, видно, что использование в составе портландцемента в качестве добавки механоактивированной золы ОСВ, имеющей большее значение удельной поверхности, а значит и большую площадь реакционного контакта цемент-зола-вода, не приводит к повышению прочности цементного камня, что, видимо, связано со значительной агрегацией

частиц в процессе обработки в планетарной мельнице (рис. 3, 4). Известно, что если не удается разрушить агрегаты из частиц, то активирующее действие введенного компонента резко уменьшается, так как не реализовано основное преимущество высокодисперсного порошка – возможность образовывать большее количество контактов при очень небольшом его содержании [10].

Заключение. 1. Установлено, что механическая активация золы путем домола в планетарной мельнице способствует увеличению ее удельной поверхности в 1,2 раза, но вместе с тем происходит агрегация частиц в процессе обработки.

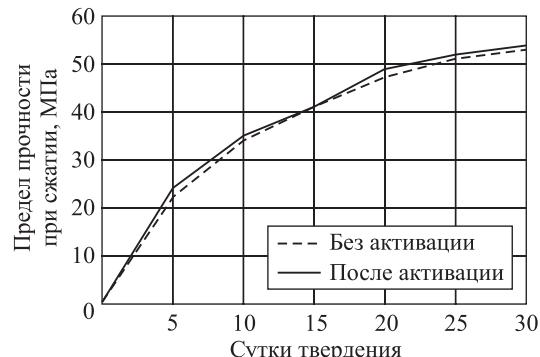


Рис. 2. Кинетические кривые твердения зольного цемента, содержащего механоактивированную и неактивированную золу

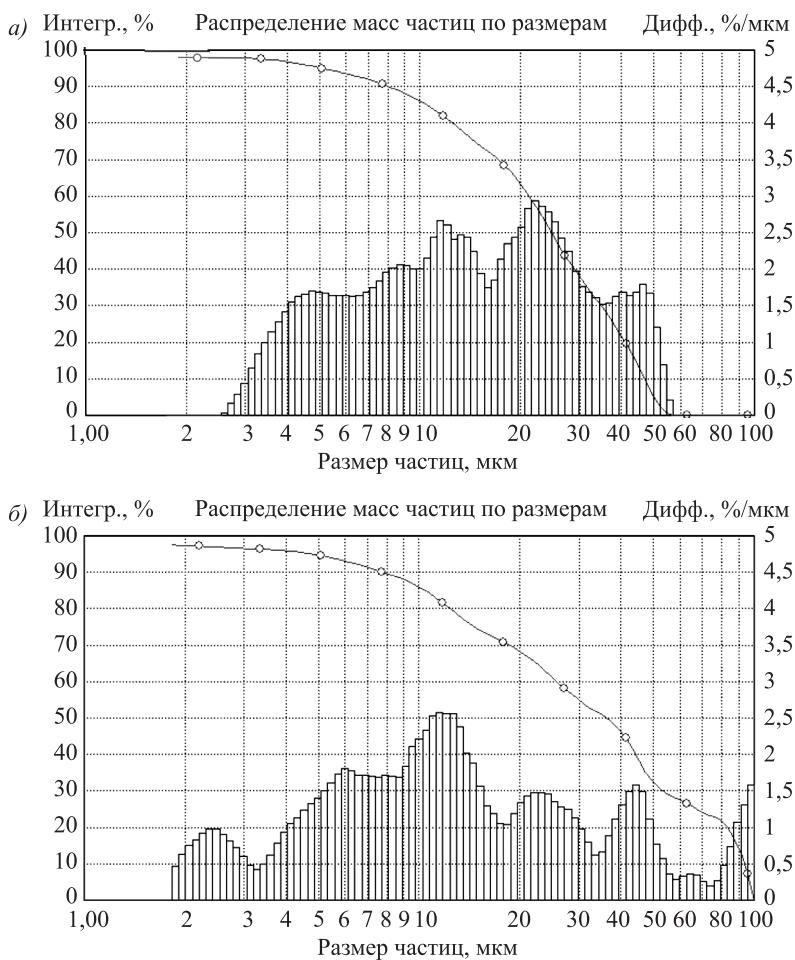


Рис. 3. Результаты гранулометрического состава золы неактивированной (а) и механоактивированной (б)

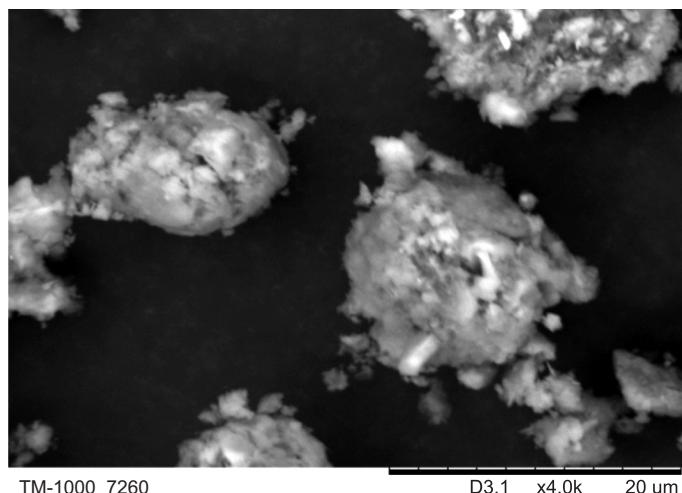


Рис. 4. Микрофотография частицы золы

2. Оптимальная длительность механоактивации в планетарной мельнице составляет 3 мин.

3. С учетом результатов можно выделить два фактора, затрудняющих применение высокодисперсной золы в качестве модифицирующей добавки в технологической практике:

– во-первых, в большинстве своем частицы золы консолидированы в достаточно плотные агрегаты;

– во-вторых, традиционные методы дезагрегации с помощью механических воздействий неэффективны по отношению к объектам такого класса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пичугин А.П., Денисов А.С., Хританков В.Ф. Экологические проблемы эффективного использования отходов и местного сырья в строительстве // Строит. материалы. 2005. № 3. С. 2–4.
2. Гусев Б.В. Бетоноведение – фундаментальное и прикладное направления: Докл. [2-я Всероссийская конференция по бетону и железобетону «Бетон и железобетон – пути развития», Москва, 5–9 сент., 2005] // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. 2005. № 10. С. 20–21.
3. Сулименко Л.М., Тихомирова И.Н. Сравнительная оценка эффективности различных способов повышения прочности портландцемента // Техника и технология силикатов. 2007. № 4. С. 13–22.
4. Соломатов В.И., Коренькова С.Ф., Чумаченко Н.Г. Новый подход к проблеме утилизации отходов в стройиндустрии // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI в. 2000. № 1, 2. С. 28–29.
5. Дворкин Л.И., Шабман И.Б., Чудновский С.М., Ковтун А.М., Якименко О.В. Высокопрочные наполненные бетоны с применением золы-уноса // Бетон и железобетон. 1993. № 1. С. 23–25.
6. Овчаренко Г.И., Хижникова Е.Ю., Горн К.С. Влияние активации цементно-зольных композиций на прочность камня // Изв. вузов. Строительство. 2010. № 6. С. 9–13.
7. Ключникова Н.С., Рогова Е.В. Свойства и фазовые превращения в осадках сточных вод коммунального хозяйства // Вестн. СГУПС. 2015. № 3. С. 32–38.
8. Алексеев А.А. Способы активации минеральных вяжущих веществ // Развитие дорожно-транспортного комплекса и строительной инфраструктуры на основе рационального природопользования. Омск: СибАДИ, 2007. Кн. 2. С. 72–75.
9. Шоева Т.Е. Мелкозернистые бетоны с использованием механоактивированных зол Тывы: дис. ... канд. техн. наук. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 2012. 147 с.
10. Муртазаев С.-А.Ю., Исмайлова З.Х. Эффективные мелкозернистые бетоны с использованием отвальных золошлаковых смесей // Бетон и железобетон. 2008. № 3. С. 27–28.

Шахов Сергей Александрович, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Рогова Елена Владимировна, студ.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Shakhov Sergey Aleksandrovich, DSc, Professor; E-mail: sashakov@mail.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Rogova Elena Vladimirovna, Student; E-mail: elena.rogova4@yandex.ru

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

INFLUENCES OF THE MECHANICAL ACTIVATING OF ASH OF SEDIMENT OF WASTE WATER TREATMENT ON ACTIVITY OF CEMENT

Relevance of the work due to the need for recycling tonnage of waste production, as well as the requirement to improve the quality of building materials.

The possibility of using sewerage sludge ash composite binders based on Portland cement as active and corrective additives. It is found that the properties of the cement deteriorate during prolonged storage of ash. It is shown that mechanical activation can increase the specific surface of the powder is 1.2 times to change the orientation of the structural particles. The optimal duration of mechanical activation of ash in a planetary mill is 3 minutes. In view of the results highlighted factors hindering the use of finely divided ash as a modifying additive in portland cement compositions: firstly its use is complicated by the fact that the majority of ash particles are consolidated in a sufficiently dense aggregates, and secondly, traditional methods disaggregation by mechanical impact are not effective with respect to objects of this class.

К e y w o r d s: wastewater sludge ash, finely additive, ash cement, mechanical activation, the pozzolanic activity, aggregates.

REFERENCES

1. Pichugin A.P., Denisov A.S., Hritankov V.F. Ekologicheskie problemy effektivnogo ispol'zovaniya otkhodov i mestnogo syr'ya v stroitel'stve [Ecological problems of effective utilization of wastes and local raw material are in building]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2005. No. 3. Pp. 2–4. (in Russia)
2. Gusev B.V. Betonovedenie – fundamental'noe i prikladnoe napravleniya: Dokl. [2 Vserossiyskaya konferentsiya po betonu i zhelezobetonu «Beton i zhelezobeton – puti razvitiya» Moskva, 5–9 sent., 2005], [Concrete-fundamental and applied directions [2 Conference on a concrete and reinforced concrete «Concrete and reinforced concrete are ways of development» Moscow, 5–9 sept., 2005]. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI v. [Building materials, equipment, technologies of XXI of century]. 2005. No. 10. Pp. 20–21. (in Russia)
3. Sulimenko L.M., Tikhomirova I.N. Sravnitel'naya otsenka effektivnosti razlichnykh sposobov povysheniya prochnosti portlandsementa [Comparative estimation of efficiency of different ways of increase of durability of cement]. Tekhnika i tekhnologiya silikatov [Technique and technology of silicates]. 2007. No. 4. Pp. 13–22. (in Russia)
4. Solomatov V.I., Korenkova S.F., Chumachenko N.G. Novyy podkhod k probleme utilizatsii otkhodov v stroyindustrii [New approach to the problem of utilization of wastes in building industry]. Stroitel'nye materialy, oborudovanie, tekhnologii XXI v. [Building materials, equipment, technologies of XXI of century]. 2000. No. 1, 2. Pp. 28–29. (in Russia)
5. Dvorkin L.I., Shabman I.B., Chudnovskiy S.M., Kovtun A.M., Yakimenko O.V. Vysokoprochnye napolennyye betony s primeneniem zoly-unosa [Durable gap-filling concretes with the use of ash-carrying away]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 1993. No. 1. Pp. 23–25. (in Russia)

6. O v c h a r e n k o G.I., H i z h i n k o v a E.Yu., G o r n K.S. Vliyanie aktivatsii tsementno-zol'nykh kompozitsiy na prochnost' kamnya [The influence of activation cement-ashes compositions on stone strength]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2010. No. 6. Pp. 9–13. (in Russia)
 7. K l y u c h n i k o v a N.S., R o g o v a E.V. Svoystva i fazovye prevrashcheniya v osadkakh stochnykh vod kommunal'nogo khozyaystva [Properties and phase converting are into sinking of effluents of communal economy]. Vestnik SGUPS [Announcer SGUPS]. 2015. No. 3. Pp. 32–38. (in Russia)
 8. A l e k s e e v A.A. Sposoby aktivatsii mineral'nykh vyazhushchikh veshchestv. Razvitie dorozhno-transportnogo kompleksa i stroiteľnoy infrastruktury na osnove ratsional'nogo prirodopol'zovaniya [Methods of activating of mineral astringent substances]. Omsk, SibADI, 2007. Kn. 2. Pp. 72–75. (in Russia)
 9. S h o e v a T.E. Melkozernistye betony s ispol'zovaniem mekhanaktivirovannykh zol Tyvy: dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk [Fine-grained concretes with the use of mechanoactivated of evils of Tyvy]. Novosibirsk, 2012. 147 p. (in Russia)
 10. M u r t a z a e v S.-A.Yu., I s m a i l o v a Z.H. Effektivnye melkozernistye betony s ispol'zovaniem otval'nykh zoloshlakovykh smesey [Effective fine-grained concrete with the use of mixtures of ash dump]. Beton i zhelezobeton [Concrete and reinforced concrete]. 2008. No. 3. Pp. 27–28. (in Russia)
-

УДК 691.42 : 666.3.022.83/.84

Л.Н. ТАЦКИ

ДВУХСТАДИЙНАЯ АКТИВАЦИЯ – СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА КИРПИЧА ПЛАСТИЧЕСКОГО ФОРМОВАНИЯ

Установлено, что сочетание механотермической активации сырья в измельчительно-сушильной установке с ударно-волновой активацией ее наиболее дисперсной части, соответствующей нормальной формовочной влажности, и пластическим формированием сырца позволяет существенно повысить предел прочности при сжатии обожженных изделий.

Разработанная технологическая схема учитывает особенности глинистого сырья и увеличивает содержание в шихте активированного шликера за счет использования пластического способа формования. Ударно-волновая активация способствует повышению вязкости, плотности и устойчивости шликеров.

Ключевые слова: механотермическая активация сырья, ударно-волновая активация дисперсной части сырья, пластическое формование, повышение прочности кирпича, технологическая схема производства.

Сырьевой базой многих предприятий, производящих керамический кирпич, являются глинистые породы с низким содержанием глинистых частиц (<5 мкм) и высоким – пылеватых (5–50 мкм), чувствительные к сушке и склонные к трещинообразованию, неспекающиеся. Задача исследования – повышение качества кирпича, получаемого из подобного технологически трудного сырья и разработка технологической схемы, обеспечивающей ее решение.

Наибольшее распространение как в России, так и за рубежом получил пластический способ производства кирпича из шихт с влажностью 18–23 %. Бесспорное достоинство способа – возможность получения высокопустотных изделий. Однако процесс массоподготовки многoperедельный, включающий иногда до 8–9 ед. глиноперерабатывающего оборудования, что увеличивает капитальные вложения и себестоимость продукции. Кроме того, при использовании чувствительного к сушке сырья необходимо поддерживать «мягкие» режимы сушки, что удлиняет процесс и требует больших площадей для сушильного отделения.

Известным способом сокращения сроков сушки является введение в состав шихт отощающих добавок – опилок, песка, молотого брака обожженного кирпича и др., а также добавок комплексного действия: альбитофиров, диабазов, диопсидов, выполняющих роль не только отощителей, но и плавней. Однако добавки требуют подготовки, что усложняет технологию.

Настоящая работа посвящена использованию для повышения качества кирпича двухстадийной активации глинистого сырья: механотермической на стадии подготовки всей глинистой породы и ударно-волновой – для наиболее дисперсной части сырья. Последняя оседает в рукавном фильтре

измельчительно-сушильной установки (ИСУ) и служит для приготовления шликера, который активируется в кавитаторе и вводится затем в шихту для формования кирпича пластическим способом. Использование пластического формования позволяет повысить количество вводимого в шихту шликера по сравнению с полусухим прессованием [1].

Объектами исследований являлись глинистые породы, служащие сырьевой базой кирпичных предприятий КЗ «ЛиКолор» и ОАО «ЗСМ-7» г. Новосибирска. В табл. 1 приведены гранулометрический состав и число пластичности глинистого сырья.

Таблица 1. Гранулометрический состав, % по объему

Предприятие	Размер частиц			Число пластичности
	50 мкм – 1 мм	5–50 мкм	менее 5 мкм	
КЗ «ЛиКолор»	6,2	72,3	21,5	16
ОАО «ЗСМ-7»	18,0	75,2	6,8	13

Обращает на себя внимание высокое содержание пылеватых фракций (5–50 мкм). Этим во многом объясняется высокая чувствительность сырья к сушке и склонность к трещинообразованию. Таким образом, сырье является технологически трудным и требует эффективных способов управления его свойствами.

Ввиду невозможности воспроизведения в лабораторных условиях механотермической активации апробировано сочетание механической активации сырья (помол в шаровой мельнице) с ударно-волновой активацией части глинистой породы. Для того чтобы повысить содержание в шихте добавки активированного шликера, образцы-кубики 50×50×50 мм формировались пластическим способом. Глинистое сырье высушивалось и измельчалось в шаровой мельнице в течение 2 ч. Ударно-волновой активации подвергалась только часть сырья, для чего готовились шликеры с относительной влажностью 50 %. Для их разжижения добавлялось 0,5 % жидкого стекла. Шликеры вводились в шихты в количестве, обеспечивающем нормальную формовочную влажность.

Активация шликеров осуществлялась в роторном аппарате модуляции потоков (РАМП) конструкции А. Звездина путем двукратной обработки [1]. Принцип действия аппарата заключается в том, что при вращении ротора относительно статора происходит смена положений «отверстие-пластина», «отверстие-отверстие». Отверстия расположены на краях цилиндрических поверхностей ротора и статора. Протекая через узкие проходы, созданные отверстиями в роторе и статоре, обрабатываемый шликер подвергается механическому, акустическому и гидродинамическому воздействию. Физические основы ударно-волновой активации рассмотрены в публикации [2].

Использование РАМП А. Звездина для активации глинистых шликеров предложено Г.И. Стороженко [3]. Ранее в опытном цехе ООО «Баскей» было выпущено 50 л активированного шликера. Установлено, что следствием ударно-волновой активации является интенсивная диспергация

и разрушение частиц гидрослюд до размеров 0,05–0,1 мкм и частичная аморфизация минералов с твердостью по шкале Мооса 5–8 [3].

Неактивированный и активированный шлиkerы КЗ «ЛиКолор» в количестве, необходимом для определения гранулометрического состава по методу Б.И. Рутковского, были высушены с целью определения влияния активации на его изменение (табл. 2).

Таблица 2. Гранулометрический состав, % по объему

Материал	Размер частиц		
	50 мкм – 1 мм	5–50 мкм	менее 5 мкм
Сырье КЗ «ЛиКолор»	6,2	72,3	21,5
Неактивированный шликер	6,0	73,6	20,4
Активированный шликер	4,0	65,4	30,6

В результате активации в шлиkerе повысилось содержание частиц менее 5 мкм и уменьшилось – пылеватых частиц размером 5–50 мкм.

В табл. 3 приведены свойства неактивированных и активированных шликеров.

Таблица 3. Свойства шликеров

Глинистая порода	Шликер	Плотность, г/см ³	Вязкость через		Коэффициент загустевания
			30 с	30 мин	
КЗ «ЛиКолор»	Неактивированный	1,43	5,6	7,9	1,41
	Активированный	1,47	6,2	12,8	2,06
ОАО «ЗСМ-7»	Неактивированный	1,30	6,5	8,1	1,25
	Активированный	1,45	7,1	10,0	1,43

Установлено, что активация повышает вязкость, позволяя осуществлять операцию перекачивания шликеров насосом в производственных условиях.

Устойчивость шликеров оценивалась по кинетике осаждения твердой фазы из 100 см³ суспензии с замером каждые сутки процента осветленной части (табл. 4).

Активация повышает устойчивость шликеров, причем этот показатель значительно лучше у глинистой породы КЗ «ЛиКолор».

Таблица 4. Устойчивость шликеров

Глинистая порода	Шликер	Объем осветленной части до стабилизации, %	Продолжительность времени до стабилизации объема, сут
КЗ «ЛиКолор»	Неактивированный	17,0	6
	Активированный	1,0	2
ОАО «ЗСМ-7»	Неактивированный	32,0	8
	Активированный	20,0	6

В табл. 5 приведены результаты испытания обожженных при 1000 °С образцов из шихт на основе глинистой породы КЗ «ЛиКолор» с введением 23 % по сухой массе активированного и неактивированного шликеров.

Таблица 5. Свойства обожженных образцов

Вид шликера	Средняя плотность, г/см ³	Предел прочности при сжатии, МПа	Прирост прочности, %	Водопоглощение по массе, %
Без шликера	1,83	19,6	–	14,38
Неактивированный	1,78	23,43	19	14,2
Активированный	1,81	26,88	37	14,16

Полученные результаты показали, что обогащение шихты активированным шликером способствует повышению прочности образцов в 1,37 раза и практически не влияет на водопоглощение.

Выполненные ранее на кафедре СМСТ исследования показали эффективность сочетания механотермической активации сырья в измельчительно-сушильной установке с ударно-волновой активацией его части и полу-сухим прессованием. Установлено, что около 22–23 % по массе порошка оседает на последней стадии в рукавном фильтре ИСУ [1]. Именно такой является формовочная влажность шихт пластического формования, что позволяет направлять эту наиболее дисперсную часть сырья на приготовление шликера.

На рисунке представлена рекомендуемая технологическая схема производства кирпича с двухстадийной активацией сырья и пластическим формированием.

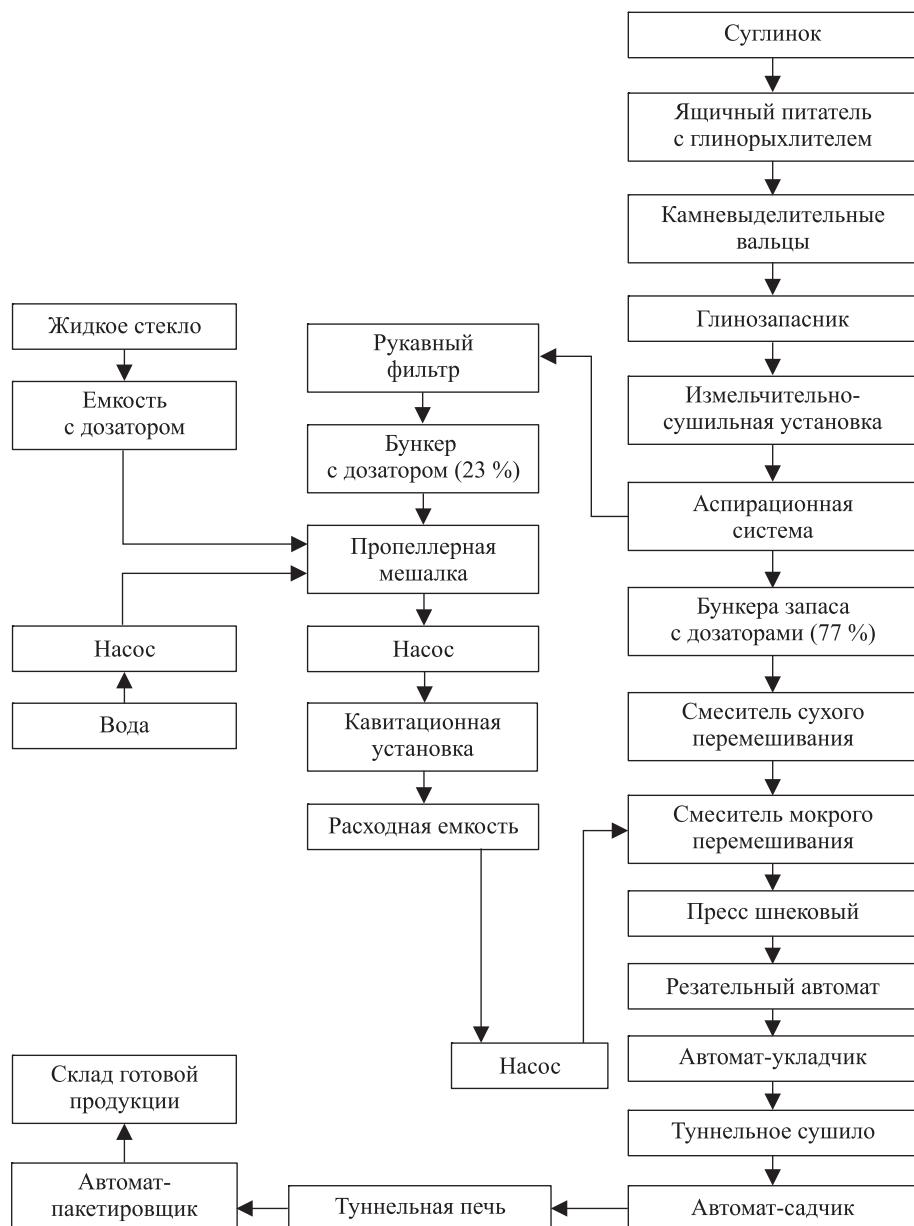
Первой стадией активации глинистого сырья является его обработка в ИСУ, где одновременно происходит сушка до 2–3 % с использованием теплоносителя с температурой 200–400 °С и измельчение до размера частиц менее 0,06 мм. Опыт промышленной эксплуатации ИСУ на кирпичных заводах Новосибирской области, Алтайского и Красноярского краев, Казахстана и др. показал, что подобная обработка снижает чувствительность сырья к сушке за счет частичной дегидратации глинистых минералов, повышает степень аморфизации и появления дефектов их структуры [4]. Наибольшей деструкции подвергаются глинистые минералы, хлорит, кальцит. Последнее позволяет устранить вредное влияние карбонатов при содержании CaO в сырье до 20 %. Улавливание и классификация высушенного сырья осуществляется в аспирационной системе ИСУ.

На второй стадии активации происходит ударно-волновое воздействие на наиболее дисперсную часть порошка, осевшего в рукавном фильтре. Из него в пропеллерной мешалке готовят шликер, который затем перекачивается в кавитационную установку. В производственных условиях двукратную активацию шликера в РАМП следует заменить на однократную с оптимальным временем обработки шликера в кавитационной установке требуемой производительности. Затем активированный шликер из расходной емкости перекачивается в смеситель мокрого перемешивания. Дальнейшая технология типична для производства керамического кирпича пластического фор-

мования. Кавитационные установки имеют небольшие размеры и могут быть применены не только на вновь строящихся, но и на реконструируемых предприятиях.

Предлагаемая технологическая схема обладает следующими достоинствами:

- снижение чувствительности сырья к сушке;
- компактность массоподготовительного отделения благодаря совмещению процессов сушки, помола и механотермической активации в одном агрегате – ИСУ;



Технологическая схема производства кирпича с двухстадийной активацией сырья и пластическим формированием

– высокая степень гомогенизации шихты за счет измельчения сырья в ИСУ и введения в нее шликера, активированного ударно-волновым способом;

– возможность повышения содержания в шихте активированного шликера.

С использованием двухстадийной активации апробирована возможность получения лицевого кирпича с осветленным черепком из пылеватой супеси, являющейся сырьевой базой ОАО «КСМ-7» (см. табл. 1).

Для осветления черепка использовалась добавка мела МТД-2, содержащего $\text{CaCO}_3 + \text{MgCO}_3$ (в пересчете на CaCO_3) не менее 96 % согласно ТУ 5743-008-05120542-96.

Для повышения прочности в шихту вводился волластонит – природный силикат кальция ($\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) с вытянутой формой кристаллов белого цвета, при раскалывании которых образуются частицы игольчатой формы, что определяет его использование как микроармирующего наполнителя. В экспериментах применялся алтайский волластонит с твердостью по шкале Мооса 4,5, удельной поверхностью 0,25 m^2/kg , белизной более 78,1 %.

Предварительно был подобран оптимальный состав шихты для получения кирпича полусухого прессования, % по сухой массе: глинистая порода – 75, мел – 25, волластонит – 10 сверх 100 %. Цвет черепка кремовый.

Для двукратной активации в РАМПе был приготовлен шликер влажностью 50 % с введением в него 0,5 % жидкого стекла. Состав шликера, % по сухой массе: мел – 25, глинистое сырье – 10. В готовый шликер вводили молотый волластонит. Осветляющими компонентами в шихте являлись мел и волластонит. Формовались образцы-кубики 50×50×50 мм, которые после сушки обжигались в муфельной печи при температуре 1000 °C.

Состав шихты и физико-механические свойства образцов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Физико-механические свойства обожженных образцов

Состав шихты, % по сухой массе			Средняя плотность, $\text{г}/\text{см}^3$	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение за 48 ч, %			
Глинистая порода ОАО «ЗСМ-7»	Шликер							
	неактивированный	активированный						
65	–	35	2,0	24,3	15,3			
65	35	–	1,9	19,4	15,5			

Примечания. Волластонит (сверх 100 %) 10 %, формовочная влажность 22 %.

Выводы. Использование активационных методов позволяет получить лицевой кирпич из сырья с низким содержанием глинистых фракций. Предел прочности при сжатии образцов с добавкой активированного шликера на 25 % выше, чем с добавкой неактивированного. Введение осветляющей добавки в виде шликера дает возможность получить более светлый черепок, чем при введении ее в виде порошка.

Несмотря на то, что ГОСТ 530–2012 не предъявляет требования к верхней границе водопоглощения для лицевого кирпича, на наш взгляд, следует для снижения ее величины, особенно при получении осветленного черепка, вводить в шихты плавни, например, молотое стекло.

Таким образом, сочетание механотермической активации глинистого сырья в ИСУ с ударно-волной активацией его части и пластическим формированием сырца позволяет существенно повысить предел прочности при сжатии обожженных изделий. Экономическая целесообразность использования предлагаемой технологии должна оцениваться в каждом конкретном случае.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тацки Л.Н., Машкина Е.В. Оценка эффективности различных способов активации глинистого сырья // Труды НГАСУ (Сибстрин). 2007. Т. 10, № 1 (39). С. 32–38.
2. Паничев А.Ю., Пребатури Н.А., Паничева Г.Г. Физические аспекты механизма ударно-волнового воздействия при дезинтеграции глинистых пород // Стройматериалы. 2005. № 5. С. 16–17.
3. Стороженко Г.И. Технология производства изделий стеновой керамики из активированного глинистого сырья: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Томск: ТГАСУ, 2000. 44 с.
4. Величко Б.П., Тацки Л.Н., Кузьмичев Н.В. Автоматизация работы измельчительно-сепарационной установки // Изв. вузов. Строительство. 2014. № 2. С. 104–110.

Тацки Людмила Николаевна, канд. техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено после доработки 11.01.16

Tatski Lyudmila Nikolaevna, PhD, Professor

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

TWO-STAGE ACTIVATION – METHOD OF IMPROVING THE QUALITY OF BRICK PLASTIC MOLDING

The purpose of research – to improve the quality of bricks produced from raw materials with a low content of clay and high – dust particles, sensitive to drying and non-caking, and the development of the technological scheme, which provides a solution to this problem.

It is found that the combination of thermomechanical activation-shredding raw materials in the drying unit with a shock wave activation disperse its most part corresponding normal humidity and molding raw molded plastic, can significantly increase the compressive strength of baked products.

The developed technological scheme takes into account the raw clay and to improve the content in the charge of the activated slip through the use of a plastic molding process. Shockwave activation contributes to the viscosity, density and stability of the slips.

К e y w o r d s: thermomechanical activation of raw materials, shock-wave part of the activation of dispersed raw materials, plastic molding, increasing the brick strength, technological scheme of production.

REFERENCES

1. Tatski L.N., Mashkina E.V. Otsenka effektivnosti razlichnykh sposobov aktivatsii glinistogo syr'ya [Evaluation of activation methods raw clay]. Trudy NGASU (Sibstrin) [Proceedings NSUACE (Sibstrin)], 2007. Vol. 10, No. 1 (39). Pp. 32–38. (in Russia)

2. Panichev A.Yu., Pribaturin N.A., Panicheva G.G. Fizicheskie aspekty mekhanizma udarno-volnovogo vozdeystviya pri dezintegratsii glinistykh porod [The physical aspects of the mechanism of shock-wave action upon disintegration of clay rocks]. Stroitel'nye materialy [Building materials]. 2005. No. 5. Pp. 16–17. (in Russia)
3. Storozhenko G.I. Tekhnologiya proizvodstva izdeliy stenovoy keramiki iz aktivirovannogo glinistogo syr'ya [Production technology wall ceramics activated raw clay]. Avtoreferat dis. ... doctora tekhnicheskikh nauk [Author. dis. ... Dr. tehn. science]. Tomsk, TSUACE, 2000. 44 p. (in Russia)
4. Velichko B.P., Tatski L.N., Kuz'michev N.V. Avtomatizatsiya raboty izmel'chitel'no-separatsionnoy ustanovki [Automation of shredding-separation unit]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2014. No. 2. Pp. 104–110. (in Russia)

ЭКОНОМИКА И ОРГАНИЗАЦИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА. АВТОМАТИЗАЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА



УДК 69.003 : 658.387

В.В. ГЕРАСИМОВ, А.К. ИСАКОВ, Г.Б. САФАРЯН, В.В. ИКОННИКОВ

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ СТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Планирование деятельности строительных организаций в системе принятия организационно-технологических решений обусловлено необходимостью определять стратегию работ в условиях риска и неопределенности. Риск планирования проводится в среднесрочном горизонте с использованием известных методов. В долгосрочном горизонте еще не разработаны методы, повышающие достоверность организационно-технологических решений. Вместе с этим из-за долгосрочности исполнения строительных проектов задача повышения достоверности принятия решений становится актуальной.

Предложен методический подход планирования организационно-технологических решений строительных объектов на основе технологии непрерывного планирования путем интегрирования решений в документах ПОС, ППР, ПЛАН, БЮДЖЕТ.

Ключевые слова: прогнозирование, неопределенность, организационно-технологические решения, строительство, объект, методика, эффективность.

Организационно-технологические решения в сфере строительного производства формируются на основе системного подхода, который предусматривает интеграцию решений: организационных – структуризации объектов и их частей, технологических – структуризации мощностей и ресурсов, планирования – структуризации ресурсов и информации, бюджетирования – структуризации денежных ресурсов. Интеграция решений составляет основу структуры ресурсов, обеспечивающих результаты деятельности. При этом параметры решений должны быть сбалансированы, поскольку их согласованностью гарантируется максимальная эффективность использования ресурсного потенциала. Так, на уровне ПОС параметры пространства и времени объектов распределяются в соответствии с архитектурой объемно-конструктивных и планировочных решений объектов и правил теории потоков. На уровне технологии осуществляется задача комплексирования работ и механизмов по правилам рационализации структуры комплектов механизмов, на уровне планов – формирование мощностей деятельности организации по правилам эффективного их использования, бюджетов – распределение

© Герасимов В.В., Исаков А.К., Сафарян Г.Б., Иконников В.В., 2016

ние денежных ресурсов по правилам рационализации денежных потоков для обеспечения выполнения планов деятельности организации. Интегрированная структура параметров блоков этих решений определяется на каждом этапе производственной деятельности с учетом внутренних и внешних факторов. Принято, что при среднесрочном горизонте работ этими факторами формируется риск как ожидаемая потеря результата, при долгосрочном – неопределенность значения параметров с различными границами ожидаемых отклонений (табл. 1).

Таблица 1. Характеристика параметров интегрированной системы строительных решений

Документ	Ресурсная основа	Параметры	Текущий период	Прогнозный период
ПОС	Поток объектов	О	О (Рк)	<О>
ППР	Поток ресурсов	Р	Р (Рк)	<Р>
ПЛАН	Поток мощностей	М	М (Рк)	<М>
БЮДЖЕТ	Поток денег	Д	Д (Рк)	<Д>

Примечания. О – объект; Р – ресурс; М – мощность; Д – деньги; Рк – риск; <...> – индекс неопределенности значений параметра.

Из табл. 1 следует, что при продвижении горизонта планирования возрастает неопределенность решений по оптимизации и рационализации задач использования ресурсов. При рациональном выборе требуется минимальное, а при оптимизации – значительно большое количество вовлекаемых в расчет ресурсов. Практика показывает, что задача определения оптимальных решений в долгосрочном периоде на основе используемых экспертных методов не позволяет получить достоверный результат [1].

Долгосрочные горизонты формируются в различных документах строительства: в бизнес-планах, ПОС, долгосрочных планах развития организаций и др. При этом создается динамическая модель многопараметризования решений, которые должны преобразовываться из потока неопределенных в поток с определенными значениями параметров.

Множество вариантов сочетаний параметров в пространстве неопределенностей комплекса организационно-технологических решений (ОТР) приведена ниже (табл. 2).

Из табл. 2 следуют положения:

– вариантное множество параметров позволяет создавать множество кластеров с различной эффективностью, которые могут быть ранжированы по уровню их влияния на результаты деятельности;

Таблица 2. Матрица вариантов сочетаний параметров в пространстве неопределенностей комплекса ОТР

Параметры	<О>	<Р>	<М>	<Д>
<О>	0	>, =, <	>, =, <	>, =, <
<Р>	>, =, <	0	>, =, <	>, =, <
<М>	>, =, <	>, =, <	0	>, =, <
<Д>	>, =, <	>, =, <	>, =, <	0

Примечания. >, =, < – соответственно значения выше, равно, менее нормативного значения параметра.

– уровень неопределенностей отображается отклонениями, измеренными качественными оценками;

– практической задачей является перевод качественных в количественные оценки значений отклонений.

Учитывая изложенное, приведем решение задачи повышения уровня определенности параметров на основе технологии непрерывного планирования и управления, которая предусматривает:

– повышение информированности о предстоящих событиях и возможности принятия решений по повышению безопасности деятельности на основе комплекса ОТР. Это отображается уровнем определенности параметров комплекса в процессе движения потенциала ресурсов с учетом влияния факторов неопределенности;

– возможности специального моделирования направленного процесса использования информации для повышения информативности решений;

– использование специальных методов и технологий формирования преобразования неопределенностей параметров и их комплекса;

– разработку специального алгоритма перевода неопределенности значений параметров в определенные значения за счет создания непрерывного и последовательного процесса повышения информативности решений;

– оценку безопасности деятельности организации в области значений параметров комплекса, которой характеризуется диапазон состояний работоспособностей потенциала ресурсов с положительным результатом на различных этапах деятельности.

Информированность о предстоящих событиях и возможных опасностях в рамках методологии диагностики решается тремя основными задачами:

мониторинг событий;

анализ ситуации безопасности;

разработка мероприятий по снижению опасностей деятельности организации.

Мониторинг предусматривает отслеживание характеристик параметров, анализ – оценку фактических значений параметров по сравнению с допустимыми или пороговыми, мероприятия предполагают разработку сценариев минимизации опасностей организационно-технологического и экономико-финансового комплекса (ОТЭФ).

Информационная модель задачи формирования комплекса параметров имеет следующий вид:

$$I(O\text{TEF}) = (Iop, Iyu, Ino), \quad (1)$$

$$Iop = > (O = 0), \quad (2)$$

$$Iyu = > (O > 0), \quad (3)$$

$$Ino = > (O >> 0), \quad (4)$$

$$(Iyu + 3yu) = > Iop, \quad (5)$$

$$(Ino + 3no + 3yu) = > Iop, \quad (6)$$

где $I(O\text{TEF})$ – информация системы ОТЭФ;

Iop , Iyu , Ino – соответственно информация определенная, условно неопределенная, неопределенная;

O – оценка опасности;

Зуо, Зно – соответственно затраты на повышение информативности условно определенности, неопределенности ситуации [1, 2].

Уравнениями (1–6) определяются процессы и затраты перевода неопределенной информации в определенные значения, что способствует повышению достоверности оценок принятия решений. При этом выражениями (1–5) задаются варианты затрат по ситуациям табл. 2, а (6) – последовательность задач планирования и управления неопределенностью.

Специальное моделирование системы переработки информации основано на использовании критерия эффективности затрат на дополнительную информацию для снижения уровня опасности по сравнению с установленными критериями.

Информационная модель задачи переработки информации имеет вид:

$$Зи = Зо + Зт + Зэ + Зф, \quad (7)$$

$$З = UC_{ci}, \quad (8)$$

$$C_{ci} = UM_{pj}, \quad (9)$$

$$Mp = (Mo, Mt, Mэ, Mф), \quad (10)$$

$$\mathcal{E}i = (Зи + ЭЭи)/Зи > 1, \quad (11)$$

где Зи – затраты на повышения уровня деловой информации системы ОТР; Зо, Зт, Зэ, Зф – соответственно затраты в области организационных, технологических, экономических, финансовых решений;

UC_{ci} – множество *i*-х сценариев повышения информативности системы;

UM_{pj} – множество *j*-х мероприятий повышения информативности комплекса;

Mo, Mt, Mэ, Mф – мероприятия в сфере организации, технологии, экономики, финансов системы ОТР;

Эи – эффективность повышения информативности системы ОТР;

ЭЭи – экономический эффект от использования мероприятий системы ОТР.

Уравнениями (7–11) определяется система переработки информации, в результате которой осуществляются мероприятия в области организации объектов путем корректировки их структуры, в области технологий – корректировки мощностей и процессов, в области экономики – корректировки схем инвестирования, в области финансов – корректировки схем налогообложения и др. При этом достигается необходимый уровень информативности данных и соответственно перевод неопределенности в определенность значений параметров. Выражениями (7–10) задаются порядки формирования затрат по мероприятиям повышения информативности данных, а (11) – оценка эффективности мероприятий.

В качестве специальных методов и технологий формирования рисков и неопределенностей используется методология непрерывного преобразования, основанная на следующих положениях:

1. В пространстве преобразований формируются три потока: определенных значений параметров комплекса, неопределенных значений, мероприятий преобразований параметров комплекса;

2. Период преобразований должен соответствовать темпу движения ресурсов системы, обусловленному производственной деятельностью;

3. Преобразования параметров должны специализироваться по этапам жизненного цикла строительной продукции: на этапе проектирования – выполняться на весь период жизненного цикла по трем типам определенности, строительства – с корректировкой условной неопределенности параметров, эксплуатации – с корректировкой неопределенности комплекса параметров (табл. 3).

Таблица 3. Поток информации в модульной системе непрерывного планирования ресурсов комплекса ОТР

№ п/п	Уровень	Модули			
		первый	второй	третий	четвертый
1	1	[Орг(Рк), Тхн(Рк), Э(Рк), Ф(Рк)]1	(<Орг>, <Тхн>, <Э>, <Ф>)2	(<Орг>, <Тхн>, <Э>, <Ф>)3	(<Орг>, <Тхн>, <Э>, <Ф>)4
2	2	Мпи1	[Орг (Рк), Тхн (Рк), Э(Рк), Ф(Рк)]2	...	(<Орг>, <Тхн>, <Э>, <Ф>)4
3	3		Мпи2	[Орг(Рк), Тхн (Рк), Э(Рк), Ф(Рк)]3	(<Орг>, <Тхн>, <Э>, <Ф>)4
4	...			Мпи3	...
5	...	T1	T2	...	T4

П р и м е ч а н и я. Орг, Тхн, Ф, Э – соответственно организационные, технологические, финансовые, экономические решения; Рк – риск; Мпи – мероприятия преобразования информации; Т – период движения комплекса параметров; 1–4 – независимые модули.

Алгоритм преобразований неопределенности значений параметров следующий:

1. Разработка проекта с долгосрочным горизонтом плана ресурсов в соответствии с выбранным производственным планом;
2. Установление временного шага потока с модулями категорий «определенность – риск» в шаблоне непрерывного плана с модулем, включающим определенный ресурс шага первого периода и неопределенный ресурс шага следующего периода, в котором происходит информатизация данных;
3. Преобразование неопределенности в определенность параметров ресурса шага последующего периода в периоде первого шага плана с помощью специальных методов повышения информативности о факторах ситуаций последующих периодов с разработкой сценариев и параметров плана;
4. Формирование детерминированных планов, скорректированных под новую структуру неопределенностей параметров;
5. Корректировка проекта плана в соответствии с выявленными возможностями повышения достоверности решений и формирование стоатистических планов с установленной вероятностью параметров [3].

Приведенные положения являются основой для определения оценки и выбора эффективных решений по повышению достоверности принимаемого комплекса параметров ОТР в условиях неопределенности и риска.

Оценка безопасности на различных стадиях формирования опасностей, вызываемых неопределенностью и рисками, включает модели вида:

$$OP = (UP), \quad (12)$$

$$УН = [УП(Рк)], \quad (13)$$

$$НО = < РЗ(УН)(В) >, \quad (14)$$

$$Рк = УФ(В), \quad (15)$$

$$НО = Рк(В), \quad (16)$$

$$ОБ:РЗ > 0, \quad (17)$$

$$ОБ:РЗ = 0, \quad (18)$$

$$ОБ:РЗ < 0, \quad (19)$$

где ОР – определенное решение;

УП – множество параметров;

УН – индекс условной неопределенности;

Рк – риск;

НО – индекс неопределенности;

РЗ – результат деятельности;

В – вероятность;

УФ – множество факторов неопределенности и риска;

ОБ – область безопасности.

Уравнениями (12–19) определяются процессы и затраты перевода неопределенной информации в определенные значения, что способствует повышению достоверности оценок принятия решений. При этом выражениями (12–15) задаются варианты перевода неопределенности в определенность, а (17–19) – области безопасности с учетом затрат на преобразования неопределенности.

Комплекс методов непрерывного планирования предусматривает оптимизацию параметров ОТР в рамках пошагового процесса повышения информативности решений и включают в себя: информационные методы гипертекстового моделирования плановых модулей исходного уровня; методы повышения информативности предметной области объектов; методы статистического моделирования вероятностей событий; методы ситуационного планирования на долгосрочный период.

Выполненные расчеты на примере долгосрочной программы строительства и эксплуатации жилых домов г. Новосибирска позволили установить количественные оценки оптимизации параметров, определяющих эффективность ОТР (табл. 4).

Из таблицы следует:

– надежность ОТР плана разработки, строительства и реализации объекта является отображением факторов объемно-конструктивных решений объекта и возможности их реализации потенциалом строительных и эксплуатационных организаций;

– эффективность детерминированных решений определяется потерями результата в области условно-определенных решений и отражает дополнительные затраты на управление риском, в условиях неопределенности отражает интеграцию дополнительных затрат на перевод неопределенности в риск и риск в определенность;

– учет факторов внешней среды предопределяет необходимость пере-проектирования сетевой структуры объекта в единой системотехнической

Таблица 4. Влияние факторов ОТР на эффективность адаптивного подхода непрерывного планирования строительства и эксплуатации на примере жилых объектов

Область оценивания	Строительство			Эксплуатация		
	НИР	ПР	СТ	M_i	...	M_n
Орг	ОРш	ОРш	УОРш	НОРш	...	НОРш
Тхн	ОРш	ОРш	УОРш	НОРш	...	НОРш
ОНор	1	1	0,94	0,76	...	0,12
ОНтх	1	1	0,91	0,75	...	0,11
ЭДР	1	1	0,93	0,27	...	0,71
ЭСР	1	1	0,95	0,81	...	0,88

Причина. НИР – научно-исследовательские работы; ПР – проектирование; СТ – строительство; М – модуль планирования, соответствующий периоду ремонтов объекта; i, n – индексы периода эксплуатации с шагом ремонтов объекта; Орг – организационные решения; Тхн – технологические решения; ОНор – организационная надежность организационных решений; ОНтх – надежность технологических решений; ЭДР – эффективность детерминированных решений; ЭСР – эффективность стохастических решений; ОРш – определенное решение; УОРш – условно-определенное решение; НОРш – неопределенное решение.

модели трех документов – проекты, управление риском, разработка стохастических планов;

– использование методики непрерывного планирования позволит минимизировать прогнозные производственные потери и повысить результаты строительства;

– приведенный подход может быть использован при прогнозировании строительства и эксплуатации множества объектов и сооружений.

Разработка информационной технологии прогнозирования надежности решений должна быть направлена на формирование автоматизированного комплекса сетевых моделей, которым должны решаться задачи: нормализации параметров проектных решений на основе нормативов и критерии надежности; корректировки проектных и плановых решений с учетом обоснованной и допустимой надежности; управление по критериям качества решений надежности в пространстве изменяемых факторов в процессе долгосрочной реализации объектов.

Выводы. 1. Проектные документы строительных объектов, включающие ОТР, не сопровождаются документами по управлению их реализацией в условиях изменяемых факторов рыночной среды.

2. Существующие методы оценок проектных решений не отображают специфику потенциала реализующей организации, что приводит к повышению проектных затрат и, как следствие, к росту цен на строительный объект.

3. Методический подход для решения этой задачи должен включать комплекс параметров, показателей и алгоритмов адаптивного управления отклонениями плана на основе динамической оптимизации параметров ОТЭФ решений с учетом регламентов и стандартов проектирования и планирования.

4. Использование адаптивного подхода должно предусматривать разработку автоматизации многопараметрической структуры строительного потенциала с учетом факторов неопределенности и риска, что позволит

снизить непроизводительные затраты и повысить эффективность деятельности организации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Герасимов В.В., Саломатин Е.А., Пятых Н.В. Управление программными рисками территориальных систем // Новые технологии в строительном материаловедении. Новосибирск : НГАСУ (Сибстрин), 2012. С. 156–161.
2. Герасимов В.В., Коробова О.А., Исаев А.К., Михальченко О.Ю. Управление безопасностью территориальных строительных систем // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 4. С. 58–64.
3. Герасимов В.В., Коробова О.А., Исаев А.К., Сафарян Г.Б. Управление безопасностью эксплуатационного периода строительных объектов // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 6. С. 27–36.

Герасимов Виталий Владимирович, д-р техн. наук, проф.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Исаев Алексей Константинович, канд. экон. наук, доц.

Сургутский государственный университет

Сафарян Геворг Борисович, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Иконников Виктор Викторович, ст. препод.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 14.01.16

Gerasimov Vitaliy Vladimirovich, DSc, Professor

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

Isakov Alexey Konstantinovich, PhD, Ass. Professor

Surgut State University, Russia

Safaryan Gevorg Borisovich, Post-graduate Student

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

Ikonnikov Victor Victorovich, Senior Lecturer

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

PREDICTION OF ORGANIZATION AND TECHNOLOGICAL SOLUTIONS CONSTRUCTION PRODUCTION UNDER CONDITIONS OF UNCERTAINTY

Planning the construction companies work in organizational and technological solutions of the system in practice, due to the need to determine the strategy work in the conditions of risk and uncertainty. Risk planning is carried out in the medium-term horizon, with the use of known techniques. In the long term horizon have not yet developed methods for enhancing the accuracy of organizational and technological solutions. At the same time due to the long-term performance of construction projects the task of raising invalidity decision becomes urgent.

The methodical approach to the planning of organizational and technological solutions of construction projects based on continuous planning by integrating technology solutions in documents PIC PPR, plans, budgets.

К e y w o r d s: forecasting, uncertainty, organizational and technological solutions, building, object, technique, efficiency.

REFERENCES

1. Gerasimov V.V., Salomatina E.A., Pyatikh N.V. Upravlenie programmnymi riskami territorial'nykh sistem [Risk Management software territorial systems]. Novye tekhnologii v stroitel'nom materialovedenii [New technologies in building materials]. Novosibirsk, NSUACE, 2012. Pp. 156–161. (in Russia)
 2. Gerasimov V.V., Korobova O.A., Isakov A.K., Mikhalkchenko O.Yu. Upravlenie bezopasnost'yu territorial'nykh stroitel'nykh sistem [Safety management of territorial building systems]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 4. Pp. 58–64. (in Russia)
 3. Gerasimov V.V., Korobova O.A., Isakov A.K., Safaryan G.B. Upravlenie bezopasnost'yu ekspluatatsionnogo perioda stroitel'nykh ob'ektov [Security management operational period of construction sites]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2015. No. 6. Pp. 27–36. (in Russia)
-

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО



УДК 627.82 : 528.482

В.С. ХОРОШИЛОВ, Н.Н. КОБЕЛЕВА, П.Н. ГУБОНИН

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИОННОГО ПРОЦЕССА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ ПЛОТИНЫ САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС НА ОСНОВЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ (2004–2007 гг.)

Рассматривается подход к построению прогнозной математической модели для изучения процесса перемещений контролируемых точек гребня плотины Саяно-Шушенской ГЭС с целью изучения качественных изменений наблюдаемых деформационных процессов сооружения. Показана последовательность выполнения этапов оценивания при построении прогнозной модели в зависимости от характера прогнозистической задачи.

Ключевые слова: геодезические данные, прогнозная математическая модель, прогнозирование, перемещения контролируемых точек, деформации сооружения.

Разработка прогнозных математических моделей является обязательным условием диагностического контроля плотины Саяно-Шушенской ГЭС (СШГЭС) в соответствии с принятой «Методикой определения критериев безопасности гидротехнических сооружений»¹ и рекомендациями Федерального закона². Существенный вклад в разработку прогнозных математических моделей представлен в работах [1–3], методологический подход – в [4–7].

Осенью 1990 г. водохранилище СШГЭС было впервые наполнено до проектной отметки (НПУ = 540 м) и с 1991 г. ГЭС и ее сооружения вышли на проектный эксплуатационный режим [5]. В этом режиме для плотины характерно циклическое изменение основной нагрузки – гидростатического давления верхнего бьефа (УВБ) на верховую грань плотины и дно водохранилища. Каждый цикл имеет две ветви: нагружения (наполнение водохранилища: май–октябрь) и разгрузки (сработка водохранилища: ноябрь–апрель).

Отметим, что геодезические данные характеризуют количественные величины перемещений наблюдаемых точек и являются результатом слож-

¹ Методика определения критериев безопасности гидротехнических сооружений. РД 153-34.2-21.342-00. М., 2001.

² Федеральный закон № 117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» // Собр. законодательства Российской Федерации. 1997. № 30. Ст. 3589.

ного взаимодействия инженерного сооружения с его основанием и внешней средой. Оценить степень влияния различных факторов на величину перемещения можно с помощью корреляционно-регрессионных моделей [5], однако их корректное применение возможно лишь в случаях, когда при математической обработке удается выявить и учесть продолжительность инерционного запаздывания реакции плотины на воздействующие факторы. Динамические модели позволяют учитывать невыявленное инерционное запаздывание и более объективно выполнить прогнозирование величин деформации сооружения и оценить параметры математической модели.

В соответствии с принятыми положениями Д 153-34.2-21.342-00 в качестве одного из диагностических показателей контроля СЗГЭС выбраны радиальные перемещения гребня плотины: левобережной секции 18, ключевой секции 33 и правобережной секции 45, измеренные отвесами, и соответствующие им значения параметров: УВБ и температура бетона $T_{\text{низ}}$, $T_{\text{верх}}$ в базовых точках [5], а также представлены прогнозные математические модели регрессионного типа для различных периодов работы плотины: 2004–2007, 2007–2009 и 2009–2014 гг.

В качестве исходных данных для построения динамической модели были использованы данные измерений за 2004–2007 гг., полученные на основании графика (рис. 1) из работы [5] (необходимые исходные данные натурных перемещений гребня плотины отсутствуют в открытой печати). В связи с этим авторы не претендуют на точность прогнозных значений перемещений, полученных по математической модели, скорее больший интерес представляет методический подход к ее построению.

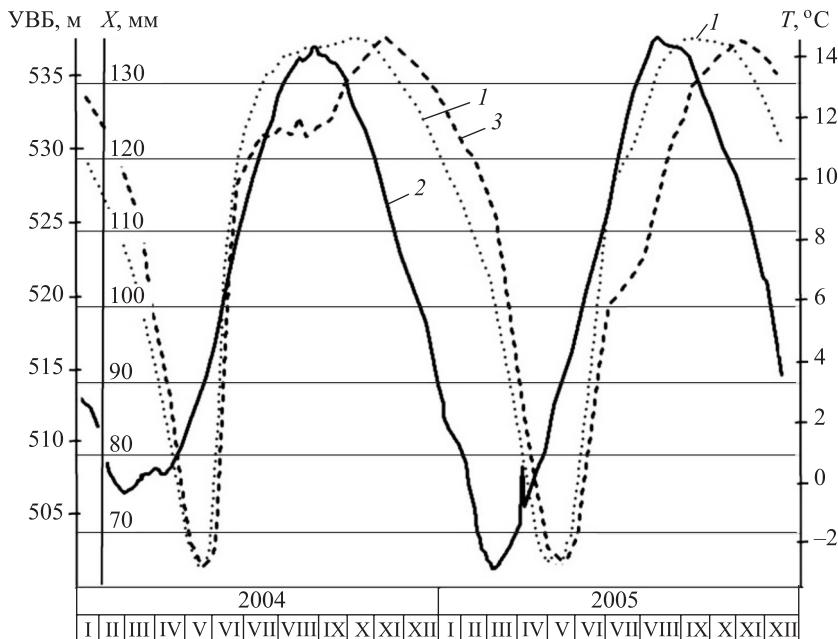


Рис. 1. Изменение диагностического показателя (радиального перемещения гребня плотины) и параметров-аргументов: УВБ и температуры бетона в базовой точке $T_{\text{низ}}$ во времени

1 – верхний бьеф; 2 – температура бетона (секция 33); 3 – радиальные перемещения

Вариантом для построения динамической модели в нашем случае может служить рекуррентное уравнение 1-го порядка процесса перемещения, происходящего под воздействием одного из основных факторов, а остаточная часть процесса дополнительно описана моделью шумовой компоненты, т. е. путем расширения вектора состояний (в который, например, могут быть включены неучтенные факторы перемещений гребня плотины).

Стационарную динамическую модель представим в виде:

$$x_k = \varphi x_{k-1} + \beta u_k + \gamma \omega_k. \quad (1)$$

Заменим в выражении (1) значения x_k и u_k их центризованными по времени значениями: $\dot{x} = x_k - \bar{x}$ и $\dot{u} = u_k - \bar{u}$ (\bar{x} и \bar{u} – средние величины перемещения и входных параметров: УВБ и температуры бетона в нижней базовой точке на годичном интервале, взятом за период основания прогноза). Это позволяет не только определить \dot{x} , как будет показано ниже, но и упрощает вычисления, повышая тем самым степень обусловленности системы нормальных уравнений, решаемых для оценивания параметров.

Параллельно строились три математические модели. В связи с тем, что рекуррентное уравнение 1-го порядка учитывает инерционное запаздывание динамической системы продолжительностью от 3 до 5 мес [6, 8], при построении 1-й модели было введено транспортное запаздывание величиной 2 мес, за входной фактор была выбрана температура бетона $T_{\text{низ}}$ в нижней базовой точке, а за период основания прогноза – ветвь нагружения и ветвь разгрузки (май 2004 г. – май 2005 г.). В других моделях в качестве основного входного фактора использовался УВБ (гидростатическое давление) для различных периодов основания прогноза: 1) ветвь нагружения и ветвь разгрузки: май 2004 г. – май 2005 г.; 2) календарный год с января 2004 г. по январь 2005 г. Исходные данные для построения прогнозных моделей представлены в табл. 1.

Здесь необходимо отметить следующую особенность оценивания параметров методом наименьших квадратов (МНК) при построении прогнозной модели. Последовательность выполнения этапов оценивания определяется характером прогностической задачи. Если модель предназначена для прогнозирования среднего значения из совокупности реализаций процесса или отдельной реализации, то на первом этапе целесообразно оценить φ, β по математическому ожиданию, а на втором – свойства шума по остаточной дисперсии. Если необходимо получить более точное прогнозирование отдельных наблюдаемых реализаций процесса, то это можно достигнуть аппроксимацией на первом этапе корреляционной функции и по ней минимизировать функционал для оценки φ . Затем, используя оценку φ для аппроксимации математического ожидания и дисперсии, можно оценить β и свойства шума минимизацией соответствующих функционалов.

На первом этапе построения динамических моделей МНК оценивались параметры по результатам наблюдений за входом $\{u_k\}$ и выходом $\{x_k\}$ на периоде основания прогноза $k = 1, 2, \dots, N$. Для этого минимизировался функционал:

$$F_1(\varphi, \beta) = \sum_{k=2}^N \left(x_k - \hat{x}_{k/k-1} \right)^2, \quad (2)$$

52 Таблица 1. Исходные данные для построения математических моделей

	1-я модель			2-я модель			3-я модель			Остаточные ошибки, мм		
	Дата, месяц	$T_{\text{шип}}$, °C	Перемещение $x_{\text{шип}}$, мм	УВБ, м	Перемещение $x_{\text{шип}}$, мм	Дата, месяц	УВБ, м	Перемещение $x_{\text{шип}}$, м	ε_1	ε_2	ε_3	
Май 2004 г.	+0,18	66,67	503,6	66,67	Январь 2004 г.	528,8	128,15	-8,89	+8,20	+5,92		
Июнь	+1,36	120,00	532,2	120,00	Февраль	523,6	119,26	+18,34	-5,89	+0,16		
Июль	+4,36	125,18	537,2	125,18	Март	516,4	100,74	+2,70	-8,06	-2,72		
Август	+9,00	125,91	538,4	125,91	Апрель	505,0	76,67	-7,76	-7,01	-7,44		
Сентябрь	+12,36	127,41	538,6	127,41	Май	503,6	66,67	-4,30	-0,30	+7,24		
Октябрь	+13,82	135,92	539,2	135,92	Июнь	532,2	120,00	+1,39	+4,12	-6,80		
Ноябрь	+13,73	138,52	537,0	138,52	Июль	537,2	125,18	+2,26	+4,33	-9,01		
Декабрь	+11,54	134,44	533,6	134,44	Август	538,4	125,91	+5,45	+5,03	-7,97		
Январь 2005 г.	+8,54	127,04	528,6	127,04	Сентябрь	538,6	127,41	-9,39	+7,30	-0,69		
Февраль	+5,64	120,74	523,8	120,74	Октябрь	539,2	135,92	+4,12	+1,56	+3,35		
Март	+1,36	100,37	514,6	100,37	Ноябрь	537,0	138,52	-10,08	-1,87	+3,80		
Апрель	-1,86	74,81	502,4	74,81	Декабрь	533,6	134,44	-17,14	-4,01	+4,81		
Май	-2,27	66,30	502,0	66,30	Январь 2005 г.	528,6	127,04	-8,89	+8,20	+5,92		

Причина с. Исходные данные для построения прогнозных моделей получены для середины каждого месяца.

где через $\hat{x}_{k/k-1}$ обозначено условное математическое ожидание уравнения (1), определяющееся выражением:

$$M\{x_k / x_{k-1}, u_k\} = \hat{x}_{k/k-1} = \varphi x_{k-1} + \beta u_k. \quad (3)$$

Оценки параметров φ, β находили из решения полученных систем нормальных уравнений.

1-я модель:

$$\begin{aligned} 6267,6571\hat{\varphi} + 1185,2469\hat{\beta} &= 4182,3799; \\ 1185,2469\hat{\varphi} + 383,7539\hat{\beta} &= 1354,3349. \end{aligned} \quad (4)$$

Из решения системы нормальных уравнений были получены: $\hat{\varphi} = -0,0002$; $\hat{\beta} = 3,5298$. Вычислив $\hat{\varphi}, \hat{\beta}$, находили оценку \hat{x}_0 из выражения:

$$\hat{x}_0 = \bar{x}(1-\bar{\varphi}) - \bar{\beta}\bar{u}. \quad (5)$$

Подобным образом были построены и другие модели и вычислены оценки параметров φ, β .

2-я модель:

$$\begin{aligned} 6267,6571\hat{\varphi} + 1923,4139\hat{\beta} &= 4182,3799; \\ 1923,4139\hat{\varphi} + 2123,5196\hat{\beta} &= 3484,0524; \\ \hat{\varphi} = 0,2268; \hat{\beta} = 1,4352; \hat{x}_0 &= -667,132 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (6)$$

3-я модель:

$$\begin{aligned} 6041,2816\hat{\varphi} + 1695,9849\hat{\beta} &= 3873,7474; \\ 1695,9849\hat{\varphi} + 1838,7504\hat{\beta} &= 3133,9478; \\ \hat{\varphi} = 0,2196; \hat{\beta} = 1,5018; \hat{x}_0 &= -701,141 \text{ мм.} \end{aligned} \quad (7)$$

Остаточные ошибки характеризуют, с одной стороны, корректность построения модели с точки зрения структурной идентификации, а с другой – это характеристика свойств шумовой компоненты ω_k , т.е. используя остаточные ошибки, можно произвести математическое описание процесса шума ω_k известными моделями авторегрессии 1-го или 2-го порядка [8] вида:

$$\varepsilon_k = x_k - \hat{x}_{k/k-1} = \gamma\omega_{k-1}. \quad (8)$$

Для определения порядка модели авторегрессии и выполнения второго этапа оценивания параметров вычислялись асимптотически несмешанные оценки корреляционной функции остаточных ошибок [9] по формуле:

$$\hat{K}_\varepsilon[m] = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^{N-m} \varepsilon_k \varepsilon_{k+m}, \quad (9)$$

где временной сдвиг $m = 0, 1, 2 \dots M < N$.

Построенные графики корреляционной функции (рис. 2) свидетельствуют о том, что описание процесса шума для 2-й и 3-й моделей следует производить моделью авторегрессии 2-го порядка. Вид корреляционной функции для 1-й модели указывает на то, что шумовая компонента пред-

ставляет собой расходящийся процесс и ее дальнейшее исследование не имеет смысла (рис. 3).

Дополнительно анализируя остаточные ошибки (см. табл. 1), после выполнения первого этапа построения моделей можно сделать вывод о том, что 2-я и 3-я модели достаточно корректны с точки зрения структурной идентификации, а 1-я нуждается в доработке.

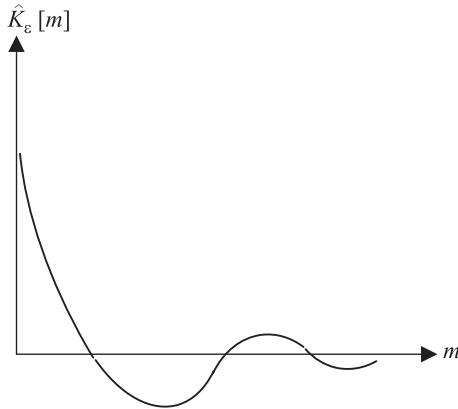


Рис. 2. График корреляционной функции (2-я и 3-я модели)

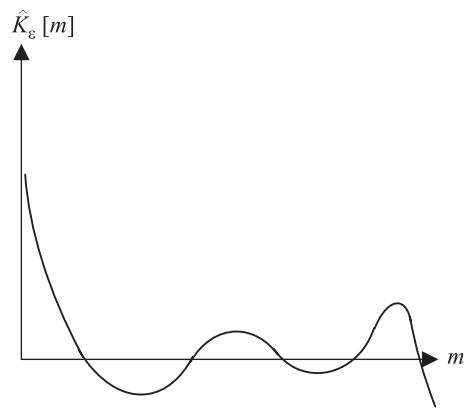


Рис. 3. График корреляционной функции (1-я модель)

Дополнительное оценивание по остаточным ошибкам с использованием оценок автокорреляции по формуле Бартлетта [9] дало следующие результаты: при стандартной ошибке для ряда $\hat{\sigma} = 0,30$ – оцениваемые автокорреляции для 2-й и 3-й моделей оказались заданного значения; нет причин сомневаться в адекватности моделей.

По существу, мы подтвердили вывод, сделанный в работе [5], что при построении прогнозной модели для СШГЭС на периоде 2004–2007 гг. оказалось недостаточным использование в качестве основного из входных воздействий температуры бетона $T_{\text{низ}}$ в нижней базовой точке; необходим, очевидно, учет совместного влияния температуры $T_{\text{низ}}$, $T_{\text{верх}}$ в обеих базовых точках, что и было впоследствии выполнено при построении прогнозной модели на периоде 2007–2009 гг. [5] для контролируемых точек гребня плотины. В связи с этим не видим смысла в ее дальнейшем построении и ограничимся построением оставшихся двух моделей.

Шумовая компонента модели авторегрессии 2-го порядка [9] имеет вид:

$$\omega_k = \mu \omega_{k-1} + \eta \omega_{k-2} + \xi_k, \quad (10)$$

где μ , η – оцениваемые параметры.

Оценка этих параметров производилась путем минимизации функционала:

$$F_2(\mu, \eta) = \sum_{m=1}^M (\hat{K}_e[m] - \mu \hat{K}_e[m-1] - \eta \hat{K}_e[m-2])^2. \quad (11)$$

При этом μ , η находились из решения соответствующей системы нормальных уравнений, а оценка коэффициента γ осуществлялась по формуле [6]:

$$\hat{\gamma} = \sqrt{\frac{\hat{K}_e[0]}{\hat{K}_{\omega}[0]}}, \quad (12)$$

где

$$\hat{K}_\omega[0] = \frac{1 - \hat{\eta}}{(1 + \hat{\eta})[(1 - \hat{\eta})^2 - \hat{\mu}^2]}.$$

Для оценки параметров $\hat{\mu}$, $\hat{\eta}$, $\hat{\gamma}$ были получены следующие системы нормальных уравнений:

2-я модель:

$$\begin{aligned} 1434,7289\hat{\mu} + 1022,1880\hat{\eta} &= 655,5002; \\ 1022,1880\hat{\mu} + 1588,4070\hat{\eta} &= 108,2707; \\ \hat{\mu} &= +0,7540; \quad \hat{\eta} = -0,4171; \quad \hat{\gamma} = 4,1713. \end{aligned} \quad (13)$$

3-я модель:

$$\begin{aligned} 1260,9663\hat{\mu} + 514,8224\hat{\eta} &= 289,5179; \\ 514,8224\hat{\mu} + 1307,1876\hat{\eta} &= 49,6265; \\ \hat{\mu} &= +0,2551; \quad \hat{\eta} = -0,0625; \quad \hat{\gamma} = 5,5246. \end{aligned} \quad (14)$$

Таким образом, получены все оценки параметров строящихся моделей, которые выражаются в следующем виде:

2-я модель:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,2268x_{k-1} + 1,4352u_k - 667,132 + 4,1713\omega_k; \\ \omega_k &= -0,7540\omega_{k-1} - 0,4171\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (15)$$

3-я модель:

$$\begin{aligned} x_k &= 0,2196x_{k-1} + 1,5018u_k - 701,141 + 5,5321\omega_k; \\ \omega_k &= 0,2551\omega_{k-1} - 0,0625\omega_{k-2} + \xi_k. \end{aligned} \quad (16)$$

Условные математические ожидания от этих моделей являются прогнозными моделями и имеют следующий вид:

2-я модель:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= 0,2268\hat{x}_{N+i-1/N} + 1,4352u_{N+i} - 667,132 + 4,1713\omega_{N+i-1/N}; \\ \hat{\omega}_{N+i/N} &= 0,7540\hat{\omega}_{N+i-1/N} - 0,4171\hat{\omega}_{N+i-2/N} \end{aligned} \quad (17)$$

при $\hat{x}_{N/N} = x_N = 134,44$ мм;

$$\hat{\omega}_{N/N} = \hat{\mu} \frac{\varepsilon_N}{\hat{\gamma}} + \hat{\eta} \frac{\varepsilon_{N-1}}{\hat{\gamma}} = 0,7540 \frac{+4,333 \text{ мм}}{4,1713} - 0,4171 \frac{+4,122 \text{ мм}}{4,1713} = 0,3710 \text{ мм.}$$

3-я модель:

$$\begin{aligned} \hat{x}_k &= 0,2196\hat{x}_{N+i-1/N} + 1,5018u_{N+i} - 701,141 + 5,5321\omega_{N+i-1/N}; \\ \hat{\omega}_{N+i/N} &= 0,2551\hat{\omega}_{N+i-1/N} - 0,0625\hat{\omega}_{N+i-2/N} \end{aligned} \quad (18)$$

при $\hat{x}_{N/N} = x_N = 134,44$ мм;

$$\hat{\omega}_{N/N} = \hat{\mu} \frac{\varepsilon_N}{\hat{\gamma}} + \hat{\eta} \frac{\varepsilon_{N-1}}{\hat{\gamma}} = 0,2551 \frac{3,801 \text{ мм}}{5,5321} - 0,0625 \frac{3,347 \text{ мм}}{5,5321} = 0,1375 \text{ мм.}$$

Результаты прогнозирования по обеим моделям методом инверсной верификации (сравнение результатов прогноза с известными значениями перемещений) представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты прогнозирования

Дата прогноза, мес	$X_{\text{перемещение}},$ мм	2-я модель		3-я модель	
		$X_{\text{прогноз}},$ мм	ошибка $\Delta_1,$ мм	$X_{\text{прогноз}},$ мм	ошибка $\Delta_2,$ мм
Янв. 2005 г.	127,04	—	—	129,14	-2,10
Февраль	120,26	—	—	113,16	+7,10
Март	100,51	—	—	93,14	+7,37
Апрель	75,64	—	—	63,21	+12,43
Май	66,15	—	—	80,57	-14,42
Июнь	91,80	102,45	-10,65	101,77	-9,97
Июль	104,62	109,77	-5,15	113,40	-8,78
Август	116,67	116,15	+0,52	121,52	-4,85
Сентябрь	130,00	127,09	+2,91	134,03	-4,03
Октябрь	135,64	142,12	-6,48	140,98	-5,34
Ноябрь	138,21	139,57	-1,36	140,91	-2,70
Дек. 2005 г.	134,36	131,45	+2,91	129,03	+5,33

Выводы. 1. Построенные прогнозные модели позволяют отслеживать основные закономерности развития процесса деформации гребня плотины и характеризуют близкие друг к другу прогнозные значения перемещений по обеим моделям.

2. Большинство ошибок прогноза перемещений Δ_k в сравнении с самими перемещениями лежат в пределах графической точности полученных исходных данных по обеим построенным моделям (неточность исходных данных с использованием рис. 1 вносит неточность в результаты прогнозирования), за исключением отдельных месяцев.

3. Большие по величине ошибки прогнозирования приходятся на время конца срабатывания и начала нагружения плотины (апрель-июнь); очевидно, инъектирование трещин [5] изменило характер работы плотины, что препятствует возврату плотины в исходное состояние. Представляется, что для данного периода работы плотины необходимо строить отдельные прогнозные модели.

4. Повысить точность прогнозирования возможно за счет увеличения периода основания прогноза при построении модели (включение нескольких лет натурных наблюдений), что планируется показать в следующей статье при построении прогнозной модели 2007–2009 гг.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Гордон Л.А., Соколовский И.К., Цовикян Л.Х. Прогноз перемещений арочной плотины на основе идентифицированной прогнозной модели // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 1989. Т. 214. С. 124–132.
- Александров Ю.Н. Использование расчетной модели плотины Саяно-Шушенской ГЭС для оценки и прогнозирования ее состояния // Гидротехническое строительство. 2008. № 11. С. 64–69.

3. Вульфович Н.А., Гордон Л.А., Степаненко Н.И. Ароочно-гравитационная плотина Саяно-Шушенской ГЭС (Оценка технического состояния по данным натурных наблюдений). СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2012.
4. Дурчева В.Н., Пучкова С.М., Загрядский И.И. Учет сезонных изменений схемы работы бетонных плотин при анализе данных натурных измерений // Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева. 2000. № 237. С. 45–53.
5. Ивашинцов Д.А., Соколов А.С., Шульман С.Г., Юделевич А.М. Параметрическая идентификация расчетных моделей гидротехнических сооружений. СПб.: Изд-во ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 2001.
6. Гуляев Ю.П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. Новосибирск: СГГА, 2008. 256 с.
7. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С., Лисицкий Д.В. О корректном подходе к математическому моделированию деформационных процессов инженерных сооружений по геодезическим данным // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. 2014. № 4. С. 22–30.
8. Гуляев Ю.П., Хорошилов В.С. Математическое моделирование. Прогнозирование деформаций сооружений гидроузлов по геодезическим данным. Новосибирск: СГГА, 2014. 78 с.
9. Бокс Дж., Джэнкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. М.: Мир, 1974. Вып. 1. 405 с. Вып. 2. 197 с.

Хорошилов Валерий Степанович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: khoroshilovvs@mail.ru
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск
Кобелева Наталья Николаевна, ст. препод.; E-mail: n.n.kobeleva@mail.ru
Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск
Губонин Петр Николаевич, доц.; E-mail: gubonin-sib@list.ru
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 18.01.16

Khoroshilov Valeriy Stepanovich, DSc, Professor; E-mail: khoroshilovvs@mail.ru
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Kobeleva Natal'ya Nikolaevna, Senior Lecturer; E-mail: n.n.kobeleva@mail.ru
Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russia
Gubonin Petr Nikolaevich, Ass. Professor; E-mail: gubonin-sib@list.ru
Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

CREATION OF EXPECTED MATHEMATICAL MODEL FOR STUDYING OF PROCESS OF MOVEMENTS OF A DAM OF SAYANO-SHUSHENSKAYA HYDROELECTRIC POWER STATION ON THE BASIS OF DYNAMIC MODEL (2004–2007)

In article approach to creation of expected mathematical model for studying of process of movements of controlled points of a crest of a dam of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power station for the purpose of studying of high-quality changes of observed deformation processes of a construction is considered. The sequence of performance of stages of estimation at creation of expected model depending on character of a predictive task is shown.

К e y w o r d s: geodetic data, expected mathematical model, forecasting, movements of controlled points, deformations of a construction.

REFERENCES

1. Gordon L.A., Sokolovskiy I.K., Sovikyan L.Kh. Prognoz peremeshcheniy archnoy plotiny na osnove identifikatsionnoy prognoznoy modeli [Arch dam displacement forecast based on the identified predictive model]. Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneyeva [Proceedings VNIIG. B.E. Vedeneyeva]. 1989. T. 214. Pp. 124–132. (in Russia)
2. Alekseyev Yu.N. Ispol'zovanie raschetnoy modeli plotiny Sayano-Shushenskoy GES dlya otsenki i prognozirovaniya ee sostoyaniya [Using a computational model of the dam of Sayano-Shushenskaya hydroelectric power plant to assess its condition and prognosis]. Gidrotekhnicheskoe stroitel'stvo [Hydraulic engineering]. 2008. No. 11. Pp. 64–69. (in Russia)
3. Vul'fovich N.A., Gordon L.A., Stefanenko N.I. Archno-gravitatsionnaya plotina Sayano-Shushenskoy GES (Otsenka tekhnicheskogo sostoyaniya po dannym naturnykh nablyudeniy) [Arch-gravity dam of Sayano-Shushenskaya HPP (Score tech-sky state according to field observations)]. Saint-Petersburg, 2012. (in Russia)
4. Durcheva V.N., Puchkova S.M., Zagryadskiy I.I. Uchet sezonnnykh izmeneniy skhemy raboty betonnykh plotin pri analize dannykh naturnykh izmereniy [Seasonally adjusted schemes of concrete dams in the analysis of field measurement data]. Izvestiya VNIIG im. B.E. Vedeneyeva [Bulletin VNIIG im. B.E. Vedeneyeva]. 2000. No. 237. Pp. 45–53. (in Russia)
5. Ivashintsov D.A., Sokolov A.S., Shul'man S.G., Yudlevich A.M. Parametricheskaya identifikatsiya raschetnykh modeley gidrotekhnicheskikh sooruzheniy [Parametric identification of computational models of hydrotechnical constructions]. Saint-Petersburg, 2001. (in Russia)
6. Gulyaev Yu.P. Prognozirovaniye deformatsii sooruzheniy na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy [Prediction of deformation structures on the basis of the results of geodesic observations]. Novosibirsk: SGGA, 2008. 256 p. (in Russia)
7. Gulyaev Yu.P., Khoroshilov V.S., Lisitskiy D.V. O korrektnom podkhode k matematicheskому modelirovaniyu deformatsionnykh protsessov inzhenernykh sooruzheniy po geodezicheskim dannym [On the correct approach to the mathematical modeling of deformation processes pro-engineering works on geodetic data]. Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotosjomka [Math. Universities. Geodesy and aerial photography]. 2014. No. 4. Pp. 22–30. (in Russia)
8. Gulyaev Yu.P., Khoroshilov V.S. Matematicheskoe modelirovaniye. Prognozirovaniye deformatsiy sooruzheniy gidrouzlov po geodezicheskim dannym [Mathematical modeling. Prediction of deformation structures of hydro-geo geodesies data]. Novosibirsk: SGGA, 2014. 78 p. (in Russia)
9. Boks J., Jenkins G. Analiz vremennykh ryadov. Prognoz i upravlenie [Time Series Analysis. Forecast and control]. Moscow, Mir, 1974. Iss. 1. 405 p., Iss. 2. 197 p. (in Russia)

САНИТАРНАЯ ТЕХНИКА



УДК 697.358

А.В. ПУГОВКИН, А.М. МУКАШЕВ

ВЛИЯНИЕ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА НА ТОЧНОСТЬ ВЫЧИСЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ, ОТДАВАЕМОЙ ОТОПИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРОМ^{*}

Рассматривается влияние погрешности измерения температуры воздуха на точность вычисления тепловой энергии. Этот вопрос актуален, поскольку появляется возможность отказаться от измерения температуры воздуха и перейти к однодатчиковому режиму, когда температура воздуха считается заданной ($T_{\text{норм}}$). Для обоснования этого применен статистический подход, позволяющий находить математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение функции ошибки. Полученные теоретические и экспериментальные результаты показывают, что при однодатчиковом режиме влияние этой составляющей погрешности удовлетворяет коммерческому применению.

Ключевые слова: тепловая энергия, коэффициент теплоотдачи, температурный напор, однодатчиковый режим, погрешность.

В системах отопления основную долю (95 %) составляют системы с вертикальной разводкой, в том числе и в многоквартирных жилых домах. Поквартирный учет потребляемой тепловой энергии в таких системах не нашел массового применения из-за сложности реализации. Для систем отопления с горизонтальной разводкой есть приемлемые решения, однако они не применимы для вертикальной разводки в силу малых перепадов температур и необходимости измерения расхода теплоносителя. Это приводит к низкой точности измерений и высокой стоимости оборудования.

Известны частные решения для систем с вертикальной разводкой [1], но они обладают низкой точностью измерений, так как не учитывают индивидуальных характеристик отопительных приборов. Эти системы не нашли широкого применения в России и странах СНГ.

Решение данной проблемы возможно с использованием методов, основанных на применении уравнения Ньютона–Рихмана. Согласно этому

* Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ по контракту № 02.G25.31.0107 от 14 августа 2014 г.

методу, тепловая мощность $P_{\text{тепл}}$, отдаваемая отопительным прибором, находится как произведение температурного напора и коэффициента теплоотдачи $G_{\text{ист}}$ [2, 3]:

$$P_{\text{тепл}} = G_{\text{ист}} (T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}), \quad (1)$$

где $T_{\text{ист}}$ – средняя температура поверхности отопительного прибора;

$T_{\text{возд}}$ – средняя температура воздуха в помещении;

$T_{\text{ист}} - T_{\text{возд}}$ – температурный напор.

К настоящему времени сложилось два подхода учета тепловой энергии. В первом в соответствии с выражением (1) тепловая мощность находится в физических единицах, во втором – измеряется только температурный напор, а знание абсолютного значения коэффициента теплоотдачи не требуется. Такие системы носят название распределителей учета стоимости тепловой энергии: находится доля тепла, потребленного отдельным помещением, по отношению к общей энергии, потребленной домом. В обоих случаях нужно решать вопрос о необходимости и точности измерения температуры воздуха.

В соответствии с рекомендацией европейского стандарта EN 1434-1 предлагается измерять температуру воздуха на расстоянии 0,75 м от пола и 1,5 м от отопительного прибора. Этот стандарт требует отдельного термодатчика. Хотя на практике пытаются совместить датчик измерения температуры воздуха и температуры источника в одном устройстве [4]. Точность измерения средней температуры воздуха не гарантируется, так как в результате того, что датчик находится вблизи источника, он показывает существенно завышенные значения температуры воздуха.

Вопросам измерения температурного напора и нахождения погрешности посвящен ряд работ, и в том числе [4–7]. В работе [5] описывается прибор распределения стоимости потребленной тепловой энергии Doprimo III. Он начинает считать тепловую энергию, если температурный напор превышает 4 °C. При этом одновременно температура поверхности радиатора должна составлять не менее 23 °C. Анализ, проведенный в этой работе, показывает, что погрешность показаний теплопотребления может достигать 15–25 %.

В работе [6] авторами приводятся результаты экспериментального исследования интегрированной системы учета тепла, функционирующей по классическому методу, когда измеряется перепад температур на входе и выходе отопительного прибора и расход теплоносителя. Погрешности в данном случае достаточно высокие (до 18 %).

В статье [7] исследуется тепловой режим исторических зданий. Описываются методы учета тепла, которые могут быть применимы в этих зданиях. Измерителем тепловой энергии является распределитель стоимости потребленной теплоты. Он работает как в однодатчиковом, так и в двухдатчиковом режиме. Погрешность составляет от 4,4 до 21,6 %. Авторы объясняют ее тем, что исторические здания за счет своих структурных и архитектурных ограничений не позволяют добиться более точных результатов.

В работе [4] на примере прибора фирмы «Данфосс» пытаются выяснить необходимое количество датчиков температуры: два или один. Однодат-

чиковый прибор, безусловно, дает некоторую погрешность при измерении, когда температура в комнате больше или меньше +20 °C. Однако она не превышает погрешность измерения распределителей с двумя датчиками, в которых датчик температуры воздуха находится внутри корпуса прибора, в непосредственной близости от поверхности нагретого радиатора. Преимущество распределителей с одним датчиком помимо простой конструкции состоит в том, что на их показания невозможно повлиять, даже если закрыть распределитель теплоизоляционным экраном. По стандарту EN 834 применение двухдатчикового прибора более целесообразно только в системах отопления с низкими проектными температурами (до +55 °C).

Приведенный обзор показывает, что погрешность измерения тепловой энергии достаточно велика и может достигать 20 %.

Целью данной работы является оценка влияния измерения температуры воздуха на точность вычисления тепловой энергии и обоснование возможности отказа от датчика температуры воздуха в помещении, т.е. перехода к однодатчиковому режиму. Для достижения данной цели необходимо решение следующих задач:

1. Получение аналитического выражения для нахождения погрешности вычисления тепловой энергии и параметров, влияющих на данную погрешность.

2. Применение статистического подхода для обоснования перехода к однодатчиковому режиму.

3. Анализ полученных результатов и выбор рекомендаций для практического применения, а именно исключение из аппаратных средств датчика температуры воздуха.

Для решения поставленных задач получим выражение для абсолютной погрешности вычисления тепловой мощности ΔP согласно выражению (1), полагая, что:

$$T_{\text{возд}} = T_{\text{норм}} + \Delta T_{\text{возд}}, \quad (2)$$

где $\Delta T_{\text{возд}}$ – случайная величина, характеризующая отклонение температуры воздуха от значения нормировки. Учитываем, что в условиях эксплуатации $T_{\text{возд}}$ может отличаться от $T_{\text{норм}}$ на ΔT . Исходя из этого:

$$P_{\text{тепл}} = G_{\text{ист}} (T_{\text{ист}} - T_{\text{норм}}) \left(1 - \frac{T_{\text{возд. тек}} - T_{\text{норм}}}{T_{\text{ист}} - T_{\text{норм}}} \right), \quad (3)$$

где значение $\Delta P = \frac{T_{\text{возд. тек}} - T_{\text{норм}}}{T_{\text{ист}} - T_{\text{норм}}}$.

В выражении (3) независимая переменная $T_{\text{возд. тек}}$, а $T_{\text{ист}}$ и $T_{\text{норм}}$ – параметры (в приведенном ниже примере $T_{\text{ист}} = 50$ °C, а $T_{\text{норм}} = 22$ и 19 °C). При заданных параметрах величина погрешности ΔP за счет ошибки измерения температуры воздуха зависит только от значения $T_{\text{возд. тек}}$. На рис. 1 приведена зависимость функции ошибки от температуры воздуха.

При эксплуатации отопления в помещении температура воздуха может принимать различные значения, а функция ошибки (как мы можем заметить из рис. 1) – как положительные, так и отрицательные значения.

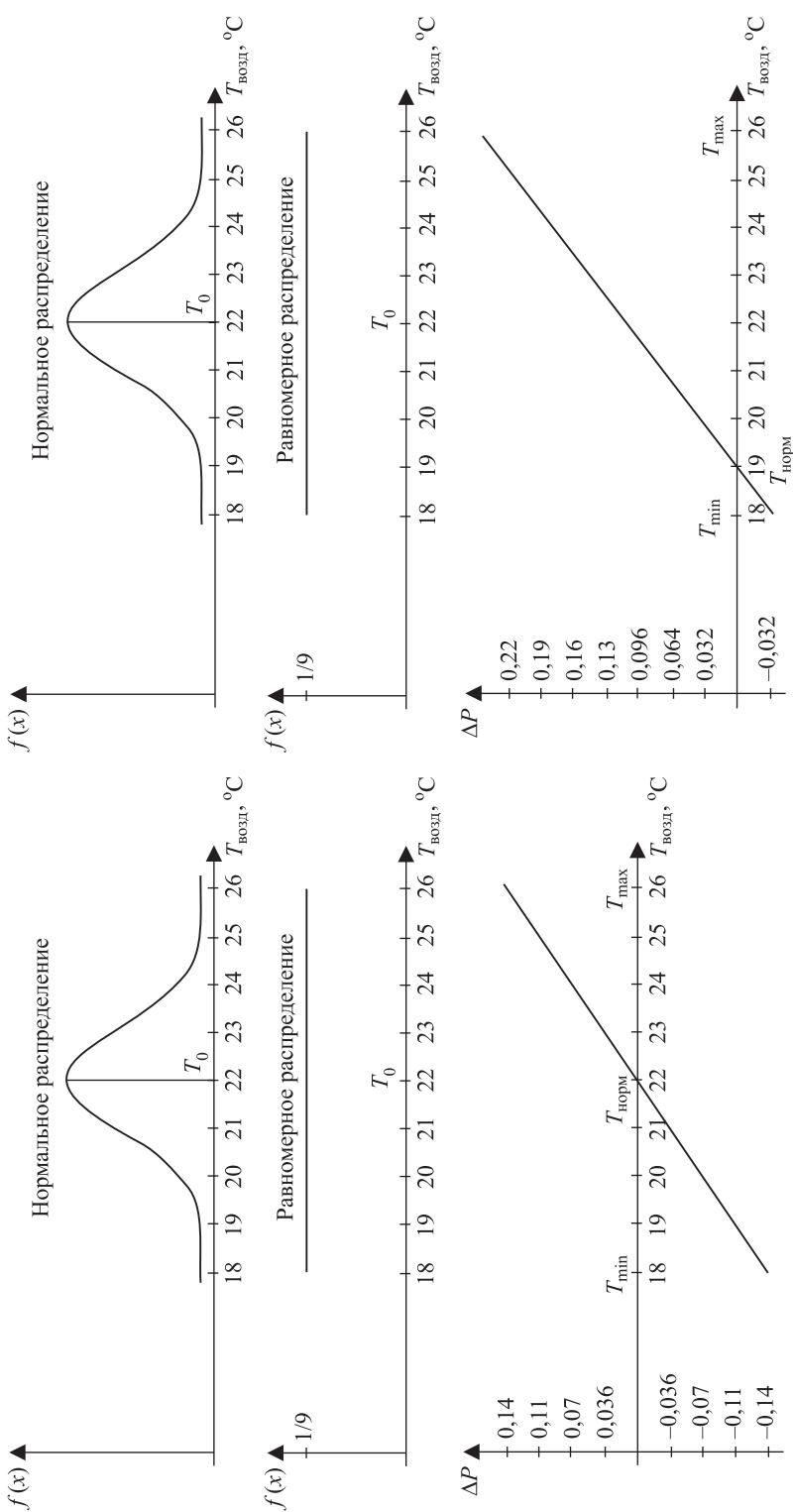


Рис. 1. Зависимость функции ошибки и плотности вероятности от температуры воздуха

Если провести усреднения за длительный промежуток времени, то суммарная погрешность может быть существенно уменьшена (в пределе стремится к нулю).

На практике распределение температур воздуха от T_{\min} до T_{\max} можно описать функцией плотности вероятностей. При моделировании случайных процессов чаще всего применяют равномерный и нормальный законы распределения. Эти зависимости также приведены на рис. 1. При равномерном распределении вероятность появления температур в диапазоне от T_{\min} до T_{\max} одинакова. На практике данное распределение не встречается. При нормальном законе распределения вероятность появления значения температур воздуха носит неравномерный характер и определяется двумя параметрами: математическим ожиданием (средним значением) и дисперсией (среднеквадратическим отклонением). Для нормального и равномерного распределения центр функции плотности вероятности обозначим как T_0 .

Зная тепловую мощность, можно найти тепловую энергию W путем интегрирования за определенный промежуток времени. Интегрирование можно осуществить, применяя функцию плотности вероятности. Зная общее количество отсчетов N значений $T_{\text{возд}}$ и функцию плотности вероятности их появления, запишем выражение для энергии следующим образом:

$$W = N \sum_{i=-k}^k P(T_0 + i\Delta T) f(T_0 + i\Delta T) \Delta t, \quad (4)$$

где Δt – интервал взятия отсчетов.

Как и тепловая мощность, тепловая энергия тоже имеет некоторую погрешность. Ее величина ΔW в соответствии с выражением (3) находится по формуле:

$$\Delta W = N \sum_{i=-k}^k f(T_0 + i\Delta T)(T_0 + i\Delta T) \Delta t. \quad (5)$$

В общем случае значения T_0 и $T_{\text{норм}}$ не совпадают, поскольку средняя температура воздуха в помещении может зависеть от условий эксплуатации и предпочтения пользователей.

Из формулы (2) видно, что при проведении усреднения наиболее благоприятным случаем является совпадение температуры нормировки с T_0 , так как суммарная погрешность будет минимальной. Наиболее неблагоприятный случай, когда температура нормировки совпадает с T_{\min} или T_{\max} .

Для расчета погрешностей необходимо выбрать значения T_{\min} , T_{\max} и $T_{\text{ист}}$, T_{\min} зададим равной 18 °C, а T_{\max} – 26 °C. Предполагается, что данный промежуток достаточно широк, и средняя температура воздуха в помещении будет находиться в данном интервале. Также зададим $T_{\text{ист}}$, равное 50 °C.

Нами проведены расчеты погрешности тепловой энергии ΔW для равномерного и нормального распределения. Для нормального распределения рассмотрены два значения среднеквадратического отклонения σ : 2 и 4 °C.

Результаты расчета погрешности измерения тепловой энергии приведены на рис. 2.

В заданном диапазоне температур максимальная погрешность измерения тепловой энергии для равномерного распределения примерно составляет

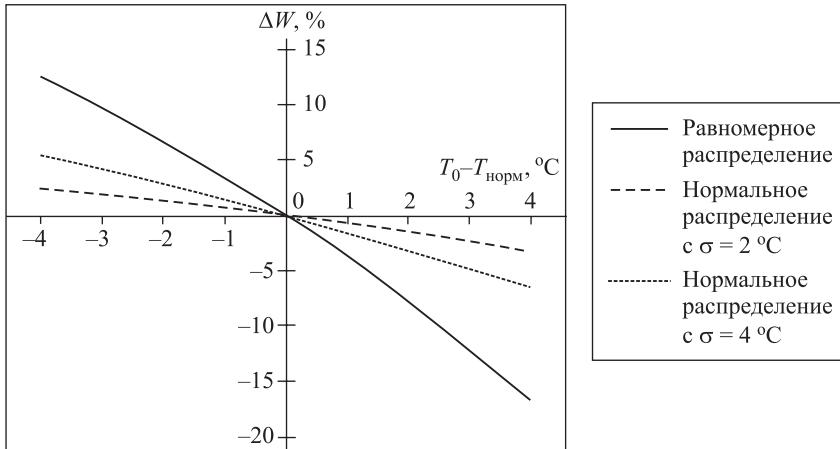


Рис. 2. Зависимость погрешности измерения тепловой энергии от $T_0 - T_{\text{норм}}$

ет 15 %, для нормального распределения она значительно уменьшена (не более 5 %). При уменьшении σ до 2 °C максимальная погрешность – 3 %. Следовательно, при усреднении показаний мощности за продолжительный промежуток времени погрешность измерения тепловой энергии может быть снижена.

Для экспериментальной проверки исследовалось поведение температуры воздуха в жилом помещении в течение месяца (в зимний период).

Экспериментальная функция плотности вероятности приведена на рис. 3.

Эту функцию можно аппроксимировать нормальным законом с математическим ожиданием 23 °C и $\sigma = 1,5$ °C. Максимальная погрешность в данном случае будет несколько меньше, чем в примере, приведенном на рис. 2.

При эксплуатации отопительных приборов $T_{\text{ист}}$ в течение длительного времени также меняется. Погрешность измерения тепловой энергии в соответствии с выражением (3) зависит от температуры источника. Проделав усреднения за длительный

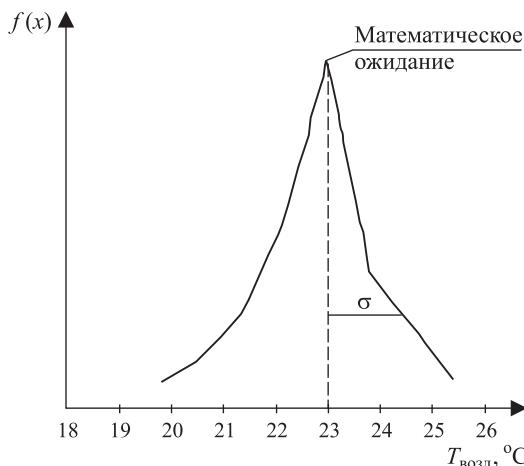


Рис. 3. Экспериментальная функция плотности вероятности

промежуток по данному параметру, можно получить дополнительные снижения погрешности. Графики погрешности для различных температур источника приведены для нормального распределения с $\sigma = 2$ на рис. 4.

В этом случае максимальная погрешность меняется от 4 до –6 %. Поскольку эта величина случайна, по ней можно провести дополнительные усреднения. Средняя зависимость приведена на рис. 4, погрешность изменяется от 2 до –3,5 %.

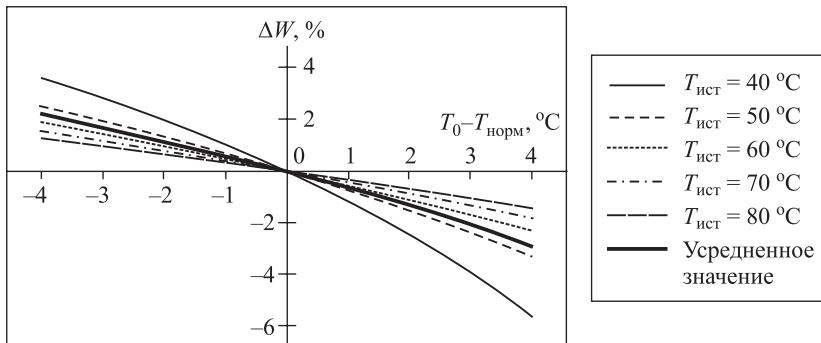


Рис. 4. Зависимость погрешности измерения тепловой энергии от $T_0 - T_{\text{норм}}$

Кроме того, погрешность можно снижать, задавая определенную температуру $T_{\text{норм}}$ для каждого помещения. Это происходит путем измерения температуры воздуха в помещении при запуске системы отопления в эксплуатацию или на этапе калибровки отопительного прибора. Уменьшение разницы $T_0 - T_{\text{норм}}$ на 1 °C приведет к дополнительному снижению погрешности на 0,5 %.

Проведенные нами теоретические и экспериментальные исследования показали, что погрешность вычисления тепловой энергии за счет влияния точности измерения температуры воздуха в течение продолжительного промежутка времени не превышает 2–3 %, что позволяет отказаться от датчика измерения температуры воздуха и существенно упростить аппаратную реализацию теплосчетчика.

Авторы выражают свою признательность Низовцеву Михаилу Ивановичу за интерес, проявленный к работе, и содержащие замечания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Казачков В.С., Шалай В.В., Попов А.А. Учет теплопотребления в много квартирных домах // Ом. науч. вестн. Сер. Приборы, машины и технологии. 2007. № 3(60). С. 78–83.
- Карпов В.Н. Поквартирный учет расхода тепла в системах отопления. Проблемы внедрения // АВОК. 2012. № 4. С. 50–58.
- Степной В.С., Абрамчук С.И., Мукашев А.М., Пуговкин А.В. Эквивалентные электрические схемы отопительных приборов // Докл. ТУСУР. 2014. № 1(31). С. 238–241.
- Никитина С. Особенности российского рынка индивидуального учета тепла // АВОК. 2015. № 5. С. 30–34.
- Кондрашова Е.С. Проблемы индивидуального учета тепла в жилом доме // В науч.-практ. конф. «Информационно-измерительная техника и технологии», Томск, 19–23 мая 2014 г. Томск, 2014. С. 106–110.
- Selenza L., Dell'Isola M., D'Alessio R., Ficco G., Vigo P., Viola A. Metrological analysis of smart heat meter, 16th International Flow Measurement Conference, FLOMEKO 2013, 24–26th September 2013. Paris, 2013. Pp. 546–550.
- Selenza L., Dell'Isola M., Ficco G., Palella I. Heat accounting in historical buildings. Energy and Buildings, 2014.

Пуговкин Алексей Викторович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: pugovkinav@ngs.ru
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники
Мукашев Алишер Мухтарович, студ.; E-mail: ali_2475@mail.ru
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

Получено 13.01.16

Pugovkin Alexey Viktorovich, DSc, Professor; E-mail: pugovkinav@ngs.ru
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia

Mukashev Alisher Mukhtarovich, Student; E-mail: ali_2475@mail.ru
Tomsk State University of System Controls and Radioelectronics, Russia

PRECISION MEASUREMENT'S INFLUENCE OF AIR TEMPERATURE ON THE ACCURACY CALCULATION OF THERMAL ENERGY GIVEN TO HEATING DEVICES

The paper examines the impact of the error on the temperature measurement accuracy of calculation thermal energy. This question is relevant because it is possible to abandon the air temperature and go to mode with one sensor, when the air temperature is assumed to be given (T_{norm}). To substantiate this, the statistical approach used for finding the mean and standard deviation of the error function. The theoretical and experimental results show that when mode with one sensor, the effect of this error component satisfies commercial application.

K e y w o r d s: thermal energy, heat transfer coefficient, temperature difference, mode with one sensor, error.

REFERENCES

1. K a z a c h k o v V.S., S h a l a y V.V., P o p o v A.A. Uchet teplopotrebleniya v mnogokvartirnykh domakh [Accounting of of heat consumption in apartment buildings]. Omskiy nauchnyy vestnik. Seriya. Pribory, mashiny i tekhnologii [Omsk Scientific Bulletin. Series. Devices, machines and technologies]. 2007. No. 3(60). Pp. 78–83. (in Russia)
2. K a r p o v V.N. Pokvarтирный учет расхода тепла в системах отопления. Problemy vnedreniya [The every apartment keeping heat consumption in heating systems. Problems of implementation]. AVOK. 2012. No. 4. Pp. 50–58. (in Russia)
3. S t e p n o y V.S., A b r a m c h u k S.I., M u k a s h e v A.M., P u g o v k i n A.V. Ekvivalentnye elektricheskie skhemy otopitel'nykh priborov [Equivalent electric circuit heaters]. Doklady TUSUR [Reports TUSUR]. 2014. No. 1(31). Pp. 238–241. (in Russia)
4. N i k i t i n a S. Osobennosti rossiyskogo rynka individual'nogo ucheta tepla [Features of the Russian individual heat metering market]. AVOK. 2015. No. 5. Pp. 30–34. (in Russia)
5. K o n d r a s h o v a E.S. Problemy individual'nogo ucheta tepla v zhilom dome [The individual heat metering problems in a building]. V nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Informatsionno-izmeritel'naya tekhnika i tekhnologii» [V Scientific-practical conference «Information and measuring equipment and technology»]. Tomsk, 2014. Pp. 106–110. (in Russia)
6. S e l e n z a L., D e l l ' I s o l a M., D ' A l e s s i o R., F i c c o G., V i g o P., V i o l a A. Metrological analysis of smart heat meter, 16th International Flow Measurement Conference, FLOMEKO 2013, 24–26th September 2013. Paris, 2013. Pp. 546–550.
7. S e l e n z a L., D e l l ' I s o l a M., F i c c o G., P a l e l l a I. Heat accounting in historical buildings. Energy and Buildings, 2014.

УДК 697.971.001.24

О.Д. САМАРИН

О НОВОМ ПОДХОДЕ К УЧЕТУ КОНДЕНСАЦИИ ВОДЯНЫХ ПАРОВ ПРИ ТЕПЛОВОМ РАСЧЕТЕ ВОЗДУХООХЛАДИТЕЛЕЙ

Рассмотрен процесс изменения состояния влажного воздуха в оборудовании систем механической вентиляции или кондиционирования воздуха при использовании утилизации теплоты с целью предварительного подогрева притока в холодный период года в условиях конденсации водяных паров. Исследованы особенности теплопередачи в аппаратах теплоутилизации при наличии конденсации и изложен алгоритм расчета фактической средней разности температур в зависимости от принятого значения температуры и энталпии наружного воздуха с учетом конденсации. Приведено сопоставление полученных результатов с существующей методикой на основе построения в *I-d*-диаграмме эквивалентного «сухого» процесса охлаждения воздуха в теплоизвлекающей части рекуператора. Данна оценка точности предлагаемого алгоритма и определены условия его применимости. Изложение проиллюстрировано числовыми и графическими примерами.

Ключевые слова: теплообмен, конденсация, влагосодержание, число единиц переноса, эквивалентный «сухой» процесс.

В практике конструирования установок обработки воздуха для систем обеспечения микроклимата зданий часто приходится встречаться с таким режимом работы поверхностных воздухоохладителей и утилизаторов теплоты, когда происходит конденсация водяных паров из охлаждаемого потока. Тепловой расчет теплообменников в этом случае имеет определенные особенности из-за необходимости учитывать влияние конденсации на процесс теплообмена. В отечественной практике чаще всего это делается путем замены реального процесса охлаждения с конденсацией на условный эквивалентный «сухой» процесс с определением соответствующих фиктивных начальных и конечных температур воздуха [1]. Такой подход является достаточно распространенным и отработанным, но требует для своей реализации графического построения на *I-d*-диаграмме.

В последнее время появляются работы, где делаются попытки решения рассматриваемого вопроса путем составления и решения полной системы уравнений тепло- и массопереноса в аппарате, как правило, с использованием численных и итерационных методов и привлечением дополнительных экспериментальных данных [2–4]. На данном пути могут быть получены весьма точные решения, но для инженерных расчетов, особенно в массовом проектировании, они малопригодны из-за их сложности и необходимости использования специально разработанных программ для ЭВМ. При этом в зарубежной практике конденсация в охладителе может и вовсе не учитываться [5]. То же самое относится и к укрупненным оценкам годовой эффективности теплообменных аппаратов [6]. В то же время проблема

надлежащего выбора и расчета устройств обработки вентиляционного воздуха имеет весьма существенное значение, особенно в связи с повышением требований к энергоэффективности климатических систем, что признается как в нашей стране, так и за рубежом [1, 7].

Поэтому представляется целесообразной разработка инженерного метода оценки влияния конденсации на теплопередачу, который, с одной стороны, обеспечивал бы достаточную точность, сопоставимую, по крайней мере, с существующим подходом [1], а с другой – был бы простым и общим за счет использования элементарных критериальных зависимостей между безразмерными параметрами и не требовал бы графического построения. В отсутствие конденсации подобного рода соотношения были предложены автором, например, в работе [8].

Для решения поставленной задачи необходимо модифицировать основную систему дифференциальных уравнений теплового баланса и теплопередачи в теплообменнике. Для этого балансовое уравнение элементарного объема охлаждаемого потока должно быть дополнено слагаемым, учитывающим удаление из воздуха скрытой теплоты конденсации водяных паров:

$$dq = G_y [cdT + rd(d_y) \cdot 10^{-3}]. \quad (1)$$

Здесь T и G_y – температура, °С, и расход удаляемого воздуха, кг/с; c – его удельная теплоемкость, которую можно принимать на уровне 1005 Дж/(кг · К);

r – удельная теплота парообразования (конденсации) воды, равная примерно $2,49 \cdot 10^6$ Дж/кг;

d_y – влагосодержание удаляемого воздуха, г/кг.

Изменение влагосодержания потока вытяжки можно в первом приближении принять пропорциональным приращению поверхности теплообмена dF , м², и текущей разности температур, °С, воздуха T и поверхности теплообмена $\tau_{\text{пов}}$:

$$d(d_y) = k(T - \tau_{\text{пов}})dF. \quad (2)$$

Справедливость такого предположения будет проверена путем сопоставления полученных результатов с данными, рассчитанными по имеющимся методикам. При этом необходимо учесть, что при противоточной схеме движения потоков приточного и вытяжного воздуха вдоль поверхности теплообмена должно выполняться следующее соотношение, в котором t соответствует текущей температуре притока, °С: $\tau_{\text{пов}} \approx (T + t)/2$. Для наглядности рассматриваемые процессы с необходимыми условными обозначениями изображены на рис. 1.

Выражение для коэффициента пропорциональности k можно получить, если рассмотреть полное количество конденсата по всей поверхности аппарата F , м². Оно определяется разностью влагосодержаний удаляемого воздуха на входе и выходе $d_{y0} - d_o$ и средним перепадом температур $(T - \tau_{\text{пов}})_{\text{ср}}$:

$$k = \frac{d_{y0} - d_o}{F(T - \tau_{\text{пов}})_{\text{ср}}}. \quad (3)$$

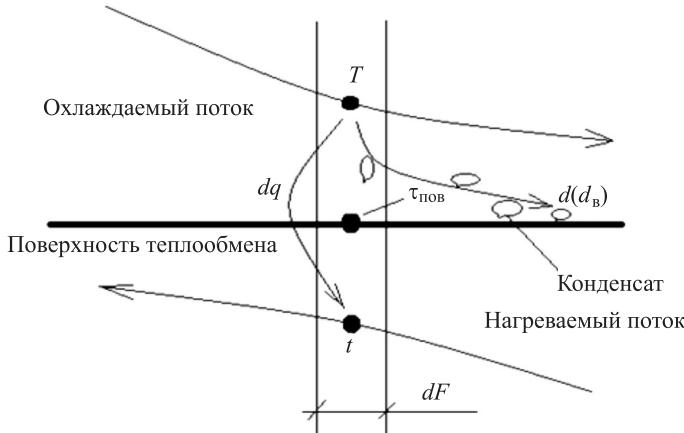


Рис. 1. Схема процесса теплопередачи в воздухоохладителе в режиме конденсации

Следует иметь в виду, что $(T - \tau_{\text{пов}})_{\text{ср}}$ в силу сделанного выше предположения должна быть равна примерно половине средней разности температур потоков воздуха $\Delta T_{\text{ср}}$, °C.

Подставляя перечисленные параметры в исходные дифференциальные уравнения, после необходимых упрощений и интегрирования получаем основное интересующее нас выражение для $\Delta T_{\text{ср}}$ с учетом процесса конденсации в безразмерном виде:

$$\Delta T'_{\text{ср}} \ln(\Delta T'_{\text{ср}}) = NTU'. \quad (4)$$

Здесь $\Delta T'_{\text{ср}} = \Delta T_{\text{ср}} / \Delta T_0$ – безразмерный средний температурный перепад по отношению к начальной разности температур $\Delta T_0 = (T - \tau_{\text{пов}})_0$ на входе в аппарат – обычно она бывает известной по результатам построения на $I-d$ -диаграмме процесса обработки воздуха в аппарате;

$$NTU' = \frac{r(d_y - d_o) \cdot 10^{-3}}{c \Delta T_0} \quad \text{– безразмерное число единиц переноса теплоты}$$

конденсации, также отнесенное к начальной разности температур. Заметим, что конструктивные характеристики аппарата в выражение для NTU' не входят. С учетом того, что при не слишком больших x (примерно до 1,6) с хорошей точностью выполняется приближенное соотношение $x \ln(x) \approx (x^2 - 1)/2$, окончательно получаем:

$$\Delta T'_{\text{ср}} \approx \sqrt{1 + 2NTU'}. \quad (5)$$

При реально наблюдающихся в воздухоохладителях аппаратах теплоутилизации значениях NTU' (порядка 0,3–0,6) условия рассмотренной аппроксимации произведения $x \ln(x)$ выполняются, поскольку аргумент при этом не выходит за необходимые пределы.

Если используется схема теплоутилизации с промежуточным теплоносителем, фактически в охладителе вытяжного воздуха поверхность теплообмена отделяет его не от притока, а от жидкой среды (обычно антифриза). Тогда параметры $\Delta T_{\text{ср}}$ и ΔT_0 будут представлять собой соответственно среднюю и начальную разность температур охлаждаемого воздуха и антифриза. То же самое относится и к водяным воздухоохладителям. О соот-

ветствии получаемых при этом результатов можно судить на основании следующего примера.

Пусть рассматривается процесс охлаждения приточного воздуха в поверхностном воздухоохладителе. Состояние наружного воздуха (точка Н): температура $T_{\text{н}} = +26,3^{\circ}\text{C}$, энталпия $I_{\text{н}} = 52 \text{ кДж/кг}$ – параметры «Б» в теплый период года для Москвы¹, состояние воздуха за охладителем (точка О): $T_{\text{o}} = +10^{\circ}\text{C}$, $I_{\text{o}} = 27,5 \text{ кДж/кг}$ – охлаждение с осушкой до максимально возможной относительной влажности около 90 %, температура охлаждающей воды на входе в охладитель $t_x = +7^{\circ}\text{C}$, на выходе $t_{\text{отепл}} = +12^{\circ}\text{C}$. Построение процесса обработки воздуха показано на рис. 2.

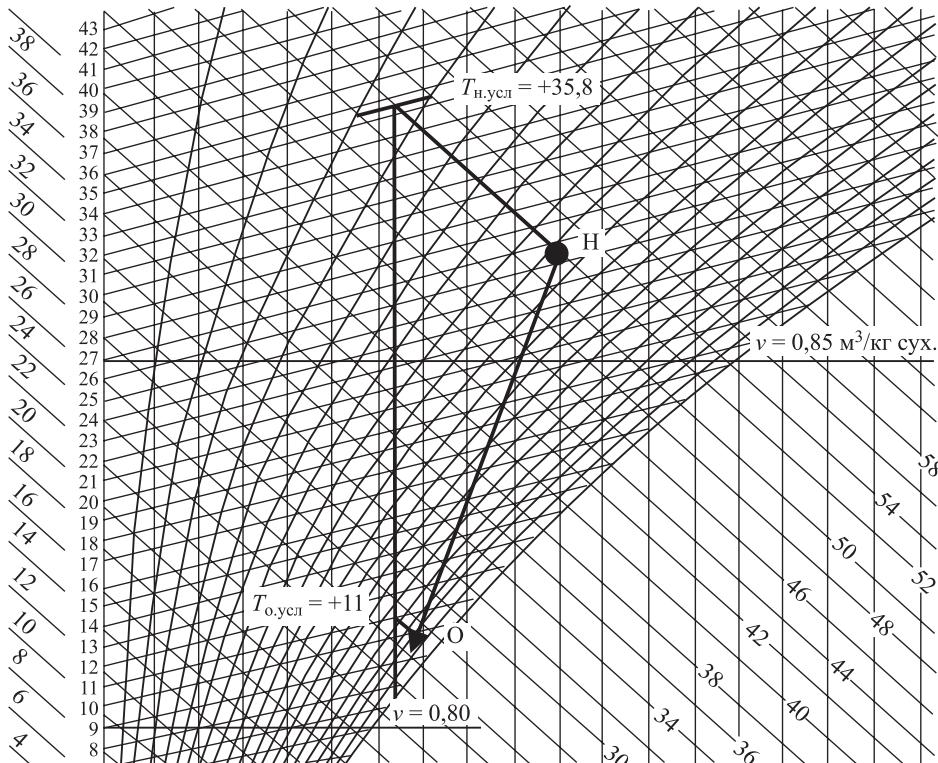


Рис. 2. Схема процесса обработки притока в поверхностном воздухоохладителе (к примеру расчета)

Тогда средняя логарифмическая разность температур в охладителе в отсутствие конденсации составит²:

$$\Delta T_{\text{cp}} = \frac{(26,3 - 12) - (10 - 7)}{\ln\left(\frac{26,3 - 12}{10 - 7}\right)} = 7,23^{\circ}\text{C}.$$

Обычно наличие конденсации учитывается построением условного эквивалентного «сухого» процесса охлаждения, по результатам которого

¹ СНиП 23-01-99* «Строительная климатология» (изд. 2004 г.)

² Теория тепломассообмена / под ред. А.И. Леонтьева. М.: Изд-во МГТУ, 1997. 684 с.

определяются условные температуры начала и конца процесса (см. рис. 1). В данном случае получаем $T_{\text{н, усл}} = +35,8^{\circ}\text{C}$, $T_{\text{o, усл}} = +11^{\circ}\text{C}$, откуда эквивалентное значение $\Delta T_{\text{ср}}$ будет равно:

$$\Delta T_{\text{ср, усл}} = \frac{(35,8 - 12) - (11 - 7)}{\ln\left(\frac{35,8 - 12}{11 - 7}\right)} = 11,1^{\circ}\text{C}.$$

Вычисляем NTU' . Величина ΔT_{o} в данном случае, очевидно, равна $T_{\text{n}} - t_{\text{отепл}} = 26,3 - 12 = 14,3^{\circ}\text{C}$. Разность влагосодержаний воздуха до и после охлаждения по построению составляет 3,1 г/кг, и тогда получаем:

$$NTU' = \frac{2490 \cdot 3,1}{1005 \cdot 14,3} = 0,54, \quad \text{откуда} \quad \Delta T'_{\text{ср}} \approx \sqrt{1 + 2 \cdot 0,54} = 1,44.$$

Найдем теперь отношение $\Delta T_{\text{ср, усл}} / \Delta T_{\text{ср}} = 11,1 / 7,23 = 1,53$, расхождение с предлагаемым методом составляет около 6 %, что лежит в пределах точности инженерного расчета. Если вычислять $\Delta T'_{\text{ср}}$ по исходной логарифмической зависимости, получим значение 1,45, и погрешность уменьшается до 5 %.

Таким образом, принятые допущения действительно приводят к результатам, эквивалентным графоаналитическому методу. В то же время полученные соотношения являются очень простыми и доступными для инженерных расчетов, не требуют обязательного графического построения, а потому могут быть рекомендованы для использования в массовом проектировании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кокорин О.Я. Современные системы кондиционирования воздуха. М.: Физматлит, 2003. 272 с.
2. Брайда В.А. Расчет параметров работы теплообменника фанкойла с учетом устанавливающегося состояния воздуха в помещении // Изв. вузов. Строительство. 2013. № 8. С. 72–77.
3. Шацкий В.П., Гулевский В.А. Особенности реализации математической модели тепло- и массообмена в косвенно-рекуперативных водоиспарительных охладителях // Изв. вузов. Строительство. 2012. № 4. С. 39–46.
4. Емельянов А.Л., Кожевникова Е.В. Методика расчета теплообмена при движении воздуха в поверхностных воздухоохладителях // Вестн. MAX. 2014. № 1. С. 39–42.
5. Miseviciute V., Martinaitis V. Analysis of ventilation system's heat exchangers integration possibilities for heating season // Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», 2011. May 19–20. Vilnius: Lithuania, 2011. Vol. 2. P. 781–787.
6. Титова Е.М., Аверьянова О.В. Анализ эффективности систем кондиционирования с секцией осушения воздуха // Инж.-строит. журн. 2011. № 1. С. 46–52.
7. Dylewski Robert, Adamczyk Janusz. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments // Energy and Buildings. 2012. No. 54. P. 88–95.
8. Самарин О.Д. Технико-экономическая оптимизация температурной эффективности теплоутилизаторов с промежуточным теплоносителем // Инж.-строит. журн. 2011. № 1. С. 34–36.

Самарин Олег Дмитриевич, канд. техн. наук, доц.

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет

Получено 25.01.16

Samarin Oleg Dmitrievich, PhD, Ass. Professor, Moscow State University of Civil Engineering (National Research University), Russia

ON A NEW APPROACH TO THE ACCOUNT OF WATER VAPOR SWEATING DURING THERMAL CALCULATION OF AIR COOLERS

The process of change of moist air state in the equipment of the mechanical ventilating system or in the air conditioning system with heat recovery for the preliminary warming of external air in a cold season under sweating is observed. The peculiarities of heat transfer in heat recovery units under sweating are studied, and the algorithm of calculation of the real average temperature difference in the dependence from assumed level of external air temperature and enthalpy with the account of sweating is presented. The comparison of obtained results with the existing procedure based on plotting of the equivalent «wet» process of air cooling in the heat extracting section of the recoverer in the *I-d*-diagram under water vapor sweating are presented. The estimation of accuracy of offered algorithm is given and the conditions of its validity are determined. The presentation is illustrated with numerical and graphical examples.

К e y w o r d s: heat exchange, sweating, specific air humidity, number of transfer units, equivalent «wet» process.

REFERENCES

1. Kokorin O.Ya. Sovremennye sistemy konditsionirovaniya vozdukha [Modern air conditioning systems]. Moscow, Publishing of physical and mathematical literature, 2003. 272 p. (in Russia)
2. Broydina V.A. Raschet parametrov raboty teploobmennika fankoya s uchetom ustannavlivayushchegosya sostoyaniya vozdukh v pomeshchenii [Calculation of operating parameters for fancoil heat exchanger considering steady indoor conditions for the air]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2013. No. 8. Pp. 72–77. (in Russia)
3. Shatskiy V.P., Gulevsky V.A. Osobennosti realizatsii matematicheskoy modeli teplo- i massoobmena v kosvenno-rekuperativnykh vodoisparitel'nykh okhладitelyakh [Features of the implementation of mathematical models of heat and mass transfer in indirect-recuperative water evaporative coolers]. Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2012. No. 4. Pp. 39–46. (in Russia)
4. Yemelyanov A.L., Kozhevnikova E.V. Metodika rascheta teploobmena pri dvizhenii vozdukha v poverhnostnykh vozdukhokhladitelyakh [Procedure of heat transfer calculation under air motion in surface air coolers]. Vestnik MAKH [News of International Academy of Refrigeration]. 2014. No. 1. Pp. 39–42. (in Russia)
5. Misevičiute V., Martinaitis V. Analysis of ventilation system's heat exchangers integration possibilities for heating season. Pap. of the 8th International Conference «Environmental Engineering», 2011. May 19–20. Vilnius, Lithuania. 2011. Vol. 2. Pp. 781–787.

6. Titova E.M., Aver'yanova O.V. Analiz effektivnosti system konditsionirovaniya s sektsiey osusheniya vozdukha [The analisys of efficiency of air conditioning systems with air dehumidifier]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of civil engineering]. 2011. No. 1. Pp. 46–52. (in Russia)
 7. Dylewski Robert, Adamczyk Janusz. Economic and ecological indicators for thermal insulating building investments. Energy and Buildings. 2012. No. 54. Pp. 88–95.
 8. Samarin O.D. Tekhniko-ekonomiceskaya optimizatsiya temperaturnoy effektivnosti teploutilizatorov s promezhutochnym teplonositel'm [Technical and economical optimization of temperature efficiency of heat recoverers with intermediate fluid]. Inzhenerno-stroitel'nyy zhurnal [Magazine of civil engineering]. 2011. No. 1. Pp. 34–36. (in Russia)
-

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ



УДК 625.7/8:677.07:658.562

С.В. ФЕДОСОВ, Н.А. ГРУЗИНЦЕВА, Н.Э. ЧИСТЯКОВА,
Ю.С. ГРУШИНА, Б.Н. ГУСЕВ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ФОРМИРОВАНИЯ ПЛАНА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ГЕОТЕКСИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА*

Предложена методика построения плана технологического контроля производства нетканых иглопробивных геотекстильных материалов, используемых при строительстве и ремонте автомобильных дорог. Данная методика основана на применении методологии IDEF0, которая позволяет сформировать полный план контроля производства геотекстильных материалов с целью улучшения качества производимой продукции. Для оценки функционирования отдельного технологического процесса предложено определять показатель технологической результативности.

Ключевые слова: дорожное строительство, план технологического контроля, нетканый иглопробивной геотекстильный материал, технологический процесс, показатели качества продукции, показатель технологической результативности процесса.

К геотекстильным материалам (ГТМ), используемым в дорожном строительстве, предъявляются жесткие требования к качеству [1]. Надлежащее качество ГТМ на этапе укладки его в земляное полотно позволяет обеспечить соответствующие технологические требования к формированию дорожного покрытия [2]. В свою очередь, высокое качество дорожного полотна является основополагающей гарантией безопасности дорожного движения. Обеспечение требуемого уровня качества продукции зависит от технологических процессов ее производства, где определенную роль играет и уровень организации на предприятии технологического контроля. Методология формирования плана технологического (в машиностроении используется термин технического) контроля обусловлена существующими на промышленном предприятии средствами измерения и контроля [3].

* Статья подготовлена в рамках выполнения проектной части госзадания № 11.1898.2014/К Минобрнауки России.

© Федосов С.В., Грузинцева Н.А., Чистякова Н.Э., Грушина Ю.С., Гусев Б.Н.,
2016

Для обеспечения выпуска продукции высокого качества в соответствии с требованиями международных нормативных документов (ГОСТ ISO 9001–2011) процесс контроля показателей качества продукции должен осуществляться на всех основных этапах жизненного цикла продукции. Для этого необходимо построение новой методики формирования плана технологического контроля производства по выпуску материалов, используемых в том числе и в дорожном строительстве [4].

В качестве объекта исследования рассматривали технологическую цепочку процессов производства нетканого иглопробивного геотекстильного материала торговой марки «Дорнит», используемого в дорожном строительстве. Технологическая цепочка изготовления данного вида ГТМ осуществляется на производственной линии «LAROCHE» (Франция).

В соответствии с одним из восьми принципов менеджмента качества – «Процессный подход», для обеспечения выпуска конкурентоспособных геотекстильных материалов осуществим первый этап формирования технологического плана контроля с использованием методологии функционирования моделирования IDEF0 и нормативного документа Р50.1.028–2001, где возможна декомпозиция процессов, входящих в план контроля с целью их наглядного представления, выявления связей между процессами, основных и вспомогательных ресурсов [5]. При этом контекстная и дочерние диаграммы помогают оперативно выявлять перечень конкретных операций с соответствующими контролируемыми параметрами, которые необходимы для формирования полного плана технологического контроля производства геотекстильных материалов.

Схемы IDEF0 построены с использованием компьютерной программы Erwin Process Modeler. На представленной схеме (рис. 1) выделены следующие процессы производства ГТМ: разрыхление входного сырья,

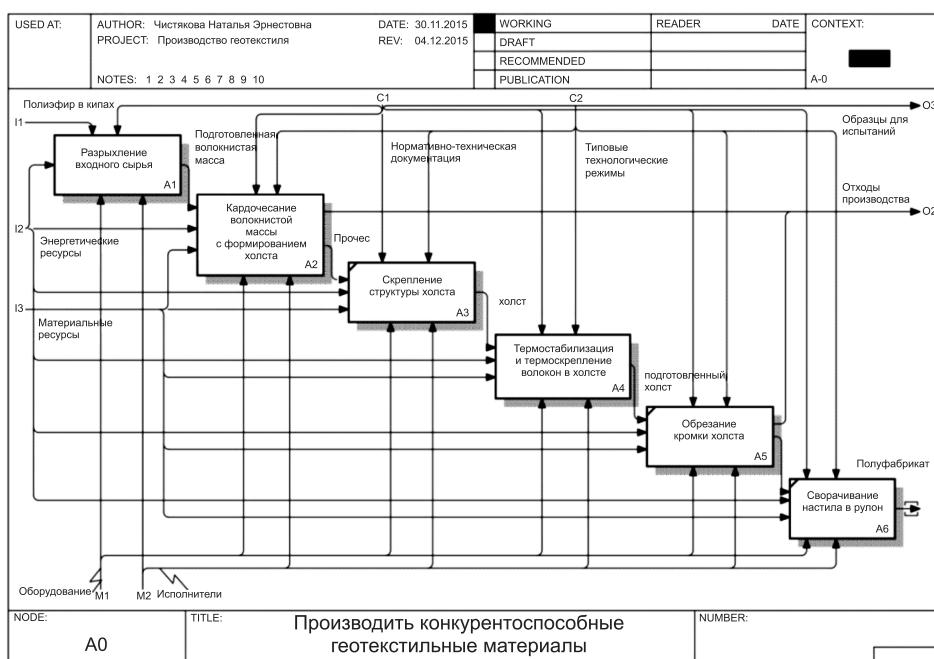


Рис. 1. Технологические процессы производства ГТМ торговой марки «Дорнит»

кардочесание волокнистой массы с формированием холста, скрепление структуры холста, термостабилизация и термоскрепление волокон, обрезание кромки холста, сворачивание холста в рулон, а также сырьевые, энергетические и информационные потоки.

В дальнейшем были выделены отдельные операции по каждому технологическому процессу. Для примера показаны основные операции процесса «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста» (рис. 2).

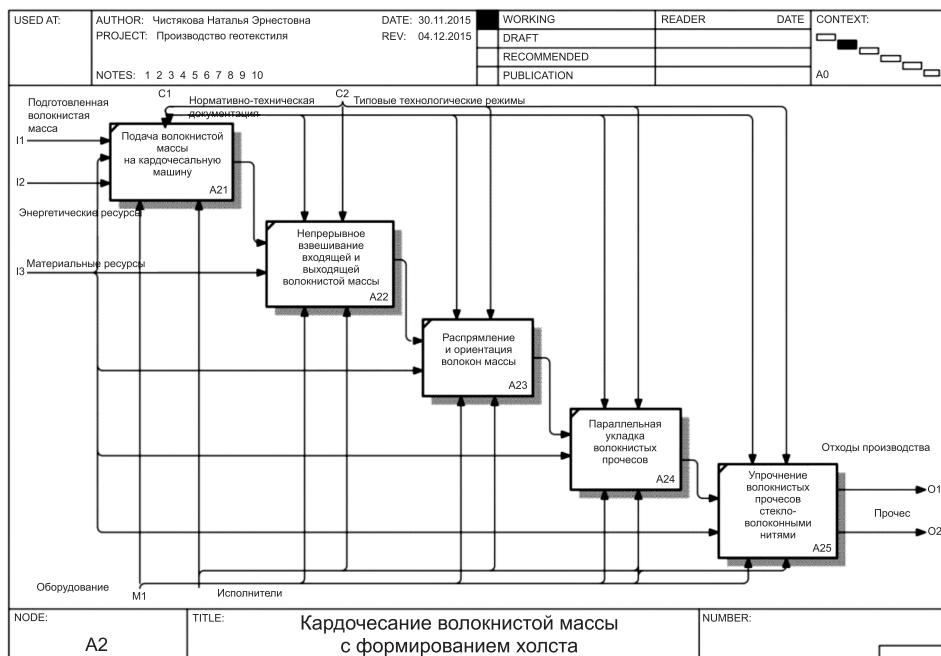


Рис. 2. Основные операции процесса «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста»

Для перехода от показанной структуры процесса «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста» к его параметрической модели проведем декомпозицию процесса (операции) на отдельные объекты: входной (выходной) сырьевой поток (СП), техническое средство (оборудование) (ТС), энергетический поток (ЭП), информационный поток (ИП), окружающая среда (ОС) и показатель технологической результативности (ПТР). Состояние отдельных объектов покажем в виде комплекса параметров: входного сырьевого потока ($\mathbf{X}_{\text{вх}}$), выходного сырьевого потока ($\mathbf{X}_{\text{вых}}$); параметров оборудования (\mathbf{Y}); параметров информационного обеспечения (\mathbf{I}); параметров энергетического обеспечения (\mathbf{U}); параметров окружающей среды (\mathbf{Z}) и параметров технологической результативности (\mathbf{R}), где $\mathbf{X}_{\text{вх}} = [(X_{\text{вх}})_1, (X_{\text{вх}})_2 \dots (X_{\text{вх}})_k]$, $\mathbf{X}_{\text{вых}} = [(X_{\text{вых}})_1, (X_{\text{вых}})_2 \dots (X_{\text{вых}})_n]$, $\mathbf{Y} = (Y_1, Y_2 \dots Y_n)$ и т.д. [6].

Для каждого отдельного объекта процессов производства ГТМ кодированное обозначение их групп параметров представим в форме матрицы размером $[A] = (a_{ij})_{nk}$, т. е. в развернутом виде

$$[A] = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1k} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2k} \\ \dots & & & \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nk} \end{vmatrix} \quad (1)$$

или в принятых по группам параметров обозначениях в виде

$$[A] = \begin{vmatrix} (X_{\text{вх}})_1 (X_{\text{вых}})_1 Y_1 I_1 U_1 Z_1 R_1 \\ (X_{\text{вх}})_2 (X_{\text{вых}})_2 Y_2 I_2 U_2 Z_2 R_2 \\ \dots \\ (X_{\text{вх}})_k (X_{\text{вых}})_k Y_k I_k U_k Z_k R_k \end{vmatrix}. \quad (2)$$

Для дальнейшего использования и информационной обработки развернем выражение (2) в табл. 1 [6].

Таблица 1. Матрица групп параметров технологических процессов производства нетканых иглопробивных геотекстильных материалов

Технологический процесс	Обозначение параметров по отдельным объектам						
	(СП) _{вх}	(СП) _{вых}	ТС	ИП	ЭП	ОС	ПТР
Разрыхление входного сырья	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_1$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_1$	\mathbf{Y}_1	\mathbf{I}_1	\mathbf{U}_1	\mathbf{Z}_1	\mathbf{R}_1
Кардочесание волокнистой массы с формированием холста	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_2$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_2$	\mathbf{Y}_2	\mathbf{I}_2	\mathbf{U}_2	\mathbf{Z}_2	\mathbf{R}_2
Скрепление структуры холста	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_3$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_3$	\mathbf{Y}_3	\mathbf{I}_3	\mathbf{U}_3	\mathbf{Z}_3	\mathbf{R}_3
Термостабилизация и термоскрепление волокон в холсте	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_4$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_4$	\mathbf{Y}_4	\mathbf{I}_4	\mathbf{U}_4	\mathbf{Z}_4	\mathbf{R}_4
Обрезание кромки холста	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_5$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_5$	\mathbf{Y}_5	\mathbf{I}_5	\mathbf{U}_5	\mathbf{Z}_5	\mathbf{R}_5
Формирование настила в рулон	$(\mathbf{X}_{\text{вх}})_6$	$(\mathbf{X}_{\text{вых}})_6$	\mathbf{Y}_6	\mathbf{I}_6	\mathbf{U}_6	\mathbf{Z}_6	\mathbf{R}_6

Возможность дальнейшего развертывания представленной в табл. 1 информации приведена в компьютерной программе, составленной в оболочке Java 8 (рис. 3). Данная программа позволяет при выделении отдельной ячейки (например, формирование холста процесса «Кардочесание

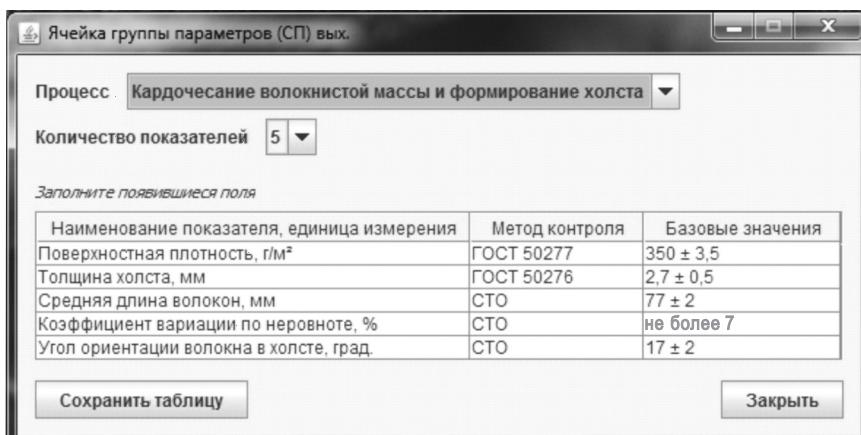


Рис. 3. Окно компьютерной программы показателей качества процесса «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста»

волокнистой массы») выделить единичные показатели выходного сырьевого потока с указанием методов контроля и требуемыми в соответствии с техническими условиями нормативными (базовыми) значениями (см. табл. 1).

Дополнительным этапом формирования плана технологического контроля в соответствии с требованиями международного стандарта ГОСТ ISO 9001–2011 являлось нахождение показателя технологической результативности (R) по предлагаемой формуле:

$$R = \text{ПТР} = \sum_{i=1}^n ((X_{\text{вых}})_i / \| (X_{\text{вых}})_i \|)^b \alpha_i, \quad (3)$$

где $(X_{\text{вых}})_i$, $\| (X_{\text{вых}})_i \|$ – фактическое и нормативное (базовое) значение i -го единичного показателя технологической результативности;

$$b = \begin{cases} +1, & \text{если } (X_{\text{вых}})_i \leq \| (X_{\text{вых}})_i \|; \\ -1, & \text{если } (X_{\text{вых}})_i > \| (X_{\text{вых}})_i \|; \\ 0, & \text{если } (X_{\text{вых}})_i = \| (X_{\text{вых}})_i \|. \end{cases}$$

α_i – коэффициент весомости i -го единичного показателя результативности.

Применимельно к процессу «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста» используем данные, приведенные в табл. 2.

Таблица 2. Значения единичных показателей технологической результативности процесса «Кардочесание волокнистой массы с формированием холста»

Единичный показатель технологической результативности	Значение		Коэффициент весомости, α_i
	фактическое $(X_{\text{вых}})_i$	нормативное $(\ X_{\text{вых}} \)_i$	
Поверхностная плотность $(X_{\text{вых}})_1$, г/м ²	349	350	0,20
Толщина холста $(X_{\text{вых}})_2$, мм	2,6	2,7	0,20
Средняя длина волокон $(X_{\text{вых}})_3$, мм	77	80	0,20
Коэффициент вариации по толщине холста $(X_{\text{вых}})_4$, %	7	10	0,20
Угол ориентации волокна в холсте $(X_{\text{вых}})_5$, град	17	20	0,20

Коэффициенты весомости α_i по отдельным показателям для данного процесса приняты равнозначными при сохранении условия $\sum_1^5 \alpha_i = 1$.

Используя выражение (3) и данные табл. 2, получаем

$$R_2 = \text{ПТР} = \frac{349}{350} \cdot 0,20 + \frac{2,6}{2,7} \cdot 0,20 + \frac{77}{80} \cdot 0,20 + \frac{7}{10} \cdot 0,20 + \frac{17}{20} \cdot 0,20 = 0,89$$

при условии, что $(R_2)_{\max} = 1$. В принятой метрологической (абсолютной) шкале [7] качество данного технологического процесса является высоким.

В дальнейшем формирование плана технологического контроля проходит по общепринятой схеме, а именно, устанавливается объект контроля (например, $(X_{\text{вых}})_1$), определяется метод контроля и исполнитель контроля [8].

Предлагаемая методология построения плана технологического контроля позволяет сформировать так называемый полный план контроля, который дает возможность прогнозировать нереализованные возможности

по обеспечению контроля за качеством производимой продукции. Данный план также является основой для построения рабочего плана технологического контроля исходя из реальных возможностей предприятия.

Выводы. 1. Предложена новая методика построения плана технологического контроля процессов производства геотекстильных материалов, используемых в ремонте и строительстве автомобильных дорог.

2. В соответствии с требованиями международного стандарта [3] приведена схема расчета показателя технологической результативности процесса для обеспечения требуемого уровня качества производимой строительной продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грузинцева Н.А., Лысова М.А., Москвитина Т.В., Гусев Б.Н. Обеспечение требуемого уровня качества геотекстильных материалов для дорожного строительства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2015. № 2. С. 19–22.
2. Федосов С.В., Поспелов П.И., Гойс Т.О., Грузинцева Н.А., Матрохин А.Ю., Гусев Б.Н. Проблемы оценки качества и стандартизации геосинтетических материалов в дорожном строительстве // Academіa. Архитектура и реставрация. 2016. № 1. С. 9–14.
3. Бершев Е.Н., Куликова Н.А. Технический контроль в производстве нетканых материалов. М.: Легкая и пищевая пром-сть, 1983. 120 с.: ил.
4. Мазур И.И., Шapiro В.Д. Управление качеством. М.: Высш. шк., 2003. 244 с.
5. Бааринов А.И., Кафаров В.В. Методы оптимизации в химической технологии. М.: Химия, 1975. 148 с.
6. Грузинцева Н.А., Скрябина Е.А., Чистякова Н.Э., Гусев Б.Н. Выделение целевых функций для технологического контроля процессов ткацкого производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2012. № 2. С. 11–14.
7. Сергеев А.Г., Крохин В.В. Метрология. М.: Логос, 2001. 408 с.: ил.
8. Скрябина Е.А., Шаломин О.А., Гусев Б.Н. Выделение разновидностей и критериев мониторинга процессов ткацкого производства // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. 2011. № 2. С. 12–16.

Федосов Сергей Викторович, акад. РААСН, д-р техн. наук, проф.

Ивановский государственный политехнический университет

Грузинцева Наталья Александровна, канд. техн. наук, доц.

Ивановский государственный политехнический университет

Чистякова Наталья Эрнестовна, канд. техн. наук, доц.

Ивановский государственный политехнический университет

Грушнина Юлия Сергеевна, асп.

Ивановский государственный политехнический университет

Гусев Борис Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Ивановский государственный политехнический университет

Получено после доработки 29.01.16

Fedosov Sergey Viktorovich, Academician RAACS, DSc, Professor; E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Ivanovo State Polytechnic University, Russia

Gruzinseva Natal'ia Alexandrovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: gruzincevan@mail.ru

Ivanovo State Polytechnic University, Russia

Chistyakova Natal'ia Ernestovna, PhD, Ass. Professor; E-mail: chistyakoff2@yandex.ru
Ivanovo State Polytechnic University, Russia
Grushina Yuliya Sergeevna, Post-graduate Student; E-mail: grushina1992@list.ru
Ivanovo State Polytechnic University, Russia
Gusev Boris Nikolaevich, DSc, Professor; E-mail: mtsm@ivgpu.com
Ivanovo State Polytechnic University, Russia

IMPROVED METHODS OF CONSTRUCTING THE PLAN OF TECHNOLOGY CONTROL OF GEOTEXTILES PRODUCTION FOR ROAD CONSTRUCTION PURPOSES

The methods are suggested of constructing the plan of technology control of producing needle-punched geotextiles used in auto road building and repair. The methods are based on IDEF0 methodology that allows to construct the full plan of geotextiles production control aiming to upgrade the quality of the manufactured products. In order to estimate the performance of a separate technological process it has been suggested to determine the index of technological effectiveness.

К e y w o r d s: road construction, technology control plan, needle-punched geotextiles, technological process, quality index, index of technological effectiveness.

REFERENCES

1. Gruzintseva N.A., Lysova M.A., Moskvitina T.V., Gusev B.N. Obespechenie trebuemogo urovnya kachestva geotekstil'nykh materialov dlya dorozhnogo stroitel'stva [Providing the required level of quality of geotextile materials for road construction]. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti [Izv. universities. Technology of textile industry]. 2015. No. 2. Pp. 19–22. (in Russia)
2. Fedosov S.V., Pospelov P.I., Goits T.O., Gruzintseva N.A., Matrokhin A.Yu., Gusev B.N. Problemy otsenki kachestva i standartizatsii geosinteticheskikh materialov v dorozhnom stroitel'stve [Problems of assessment of quality and standardization of geosynthetics in road construction]. Academia. Arkhitektura i restavratsiya [Academia. Architecture and restoration]. 2016. No. 1. Pp. 9–14. (in Russia)
3. Bershev E.N., Kulikova N.A. Tekhnicheskiy kontrol' v proizvodstve netkanykh materialov [Technical control in the production of nonwoven materials]. Moscow, Light and food industry, 1983. 120 p.: ill. (in Russia)
4. Maser I.I., Shapiro V.D. Upravlenie kachestvom [Quality management of]. Moscow, The higher school, 2003. 244 p. (in Russia)
5. Bayarino A.I., Kafarov V.V. Metody optimizatsii v khimicheskoy tekhnologii [Optimization methods in chemical technology]. Moscow, Chemistry, 1975. 148 p. (in Russia)
6. Gruzintseva N.A., Skryabina E.A., Chistyakova N.E., Gusev B.N. Vydenie tselevykh funktsiy dlya tekhnologicheskogo kontrolya protsessov tkatskogo proizvodstva [The selection of objective functions for process control of weaving process]. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti [Izv. universities. Technology of textile industry]. 2012. No. 2. Pp. 11–14. (in Russia)
7. Sergeev A.G., Krokhin V.V. Metrologiya [Metrology]. Moscow, Logos, 2001. 408 p.: ill. (in Russia)
8. Skryabina E.A., Shalomin O.A., Gusev B.N. Vydenie raznovidnostey i kriteriev monitoringa protsessov tkatskogo proizvodstva [Separation of the varieties and criteria for monitoring processes of a textile production]. Izvestiya vuzov. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti [Izv. universities. Technology of textile industry]. 2011. No. 2. Pp. 12–16. (in Russia)

СТРОИТЕЛЬНЫЕ И ДОРОЖНЫЕ МАШИНЫ



УДК 621.542.001

Ю.Э. МАЛЫШЕВА, М.П. ДМИТРИЕВ, А.А. КУТУМОВ,
Э.А. АБРАМЕНКОВ

ПНЕВМОУДАРНЫЕ МЕХАНИЗМЫ С УПРАВЛЯЕМЫМИ ДРОССЕЛЯМИ ВПУСКА И ОПИСАНИЕ ИХ БАРО- И ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Рассмотрены синтезированные пневмоударные механизмы с улучшенным конструктивным решением. Предложено физико-математическое описание их рабочего процесса.

Ключевые слова: дроссель впуска, камера пневматического буфера, пневмоударный механизм, ударник, бародинамика, термодинамика, хородинамика, баромеханика.

Рассматриваемые пневмоударные механизмы синтезированы с применением известных [1, 2] классификаций признаков-элементов. В качестве аналога принято техническое решение [3] с исключением центральной трубы воздухоподвода в камеру холостого хода и сохранением средств впуска [1] в виде яруса дросселей со стороны камеры рабочего хода, перекрываемых последовательно ударником в конце холостого и начале рабочего хода.

Пневмоударный механизм (рис. 1) с дросселями круглой формы с различными геометрическими сечениями и с их увеличением в сторону камеры холостого хода устроен и работает следующим образом.

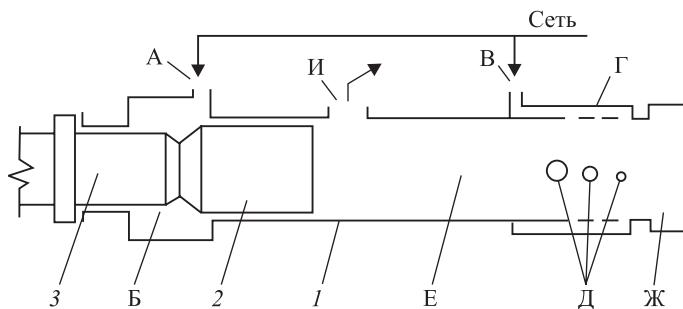


Рис. 1. Принципиальная схема пневмоударного механизма.
Обозначения см. в тексте

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по дроссельному каналу А в камеру Б наддува холостого хода и одновременно по дроссельному каналу В в кольцевую камеру Г форсажа рабочего хода, откуда по каналам Д круглого сечения различных размеров в камеру Е рабочего хода и камеру Ж пневматического буфера в цилиндре 1. В зависимости от положения ударника 2 после перекрытия им каналов Д камера Ж разобщается с камерой Г. Каналы Д образуют ярусы с меньшим размером отверстия со стороны камеры Ж и с увеличивающимися последовательно размерами отверстий в противоположную сторону. Каналы Д могут быть выполнены либо по образующей, либо под углом к ней. Опорожнение камер Б и Е осуществляется периодически в зависимости от положения ударника через канал И выпуска. Под действием разности силовых импульсов со стороны камер Б, Е и Ж ударник совершают возвратно-поступательное движение и периодически наносят удары по инструменту 3.

Как и в решении [3], предложенное расположение дросселей выпуска позволяет к концу холостого хода ударнику понизить противодавление воздуха со стороны камеры рабочего хода, чем обусловить увеличение хода ударника. Положительным фактором является отсутствие трубки, чем исключаются силы трения контактирующей пары «ударник-трубка» и снижаются силы торможения ударника.

Аналогичную систему воздухораспределения можно выполнить для камеры холостого хода. При этом дроссели с изменяющимися геометрическими сечениями следует развернуть на 180° , что позволит понизить противодавление воздуха в камере холостого хода в конце рабочего хода ударника и сохранить его ударный импульс кинетической энергии.

Пневмоударный механизм (рис. 2) с дросселями круглой формы с различными геометрическими сечениями с их увеличением в сторону камеры рабочего хода устроен и работает следующим образом.

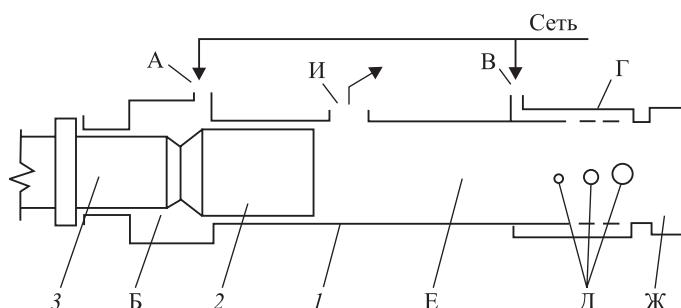


Рис. 2. Принципиальная схема пневмоударного механизма.
Обозначения см. в тексте

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по дроссельному каналу А в камеру Б наддува холостого хода и одновременно по дроссельному каналу В в кольцевую камеру Г форсажа рабочего хода, откуда по каналам Д круглого сечения различных размеров в камеру Е рабочего хода и камеру Ж пневматического буфера в цилиндре 1. В зависимости от положения ударника 2 после перекрытия им каналов Д камера Ж разобщается с камерой Г. Каналы Д образуют ярусы с меньшим размером отверстия со стороны камеры Ж и с увеличивающимися последовательно размерами отверстий в противоположную сторону. Каналы Д могут быть выполнены либо по образующей, либо под углом к ней. Опорожнение камер Б и Е осуществляется периодически в зависимости от положения ударника через канал И выпуска. Под действием разности силовых импульсов со стороны камер Б, Е и Ж ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 3.

ры Ж и с уменьшающимися последовательно размерами отверстий в противоположную сторону. Каналы Д могут быть выполнены либо по образующей, либо под углом к ней. Опорожнение камер Б и Е осуществляется периодически в зависимости от положения ударника через канал И выпуска. Под действием разности силовых импульсов со стороны камер Б, Е и Ж ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту.

Предложенное расположение дросселей впуска позволяет к концу холостого хода ударника поддерживать в камере рабочего хода значительное давление воздуха, осуществлять более резкое торможение ударника, а в начале рабочего хода более интенсивное его ускорение, большую скорость соударения с хвостовиком инструмента и передавать ему большую часть кинетической энергии. Такое решение дает возможность увеличить как частоту, так и энергию единичного удара.

При наличии увеличенного объема камеры холостого хода, выполнение дросселей впуска с ее стороны при развернутом на 180° их положении позволит не затормаживать ударник перед соударением с хвостовиком рабочего инструмента, и создать более интенсивное ускорение и скорость ударнику при холостом ходе. Предложенное решение сокращает время рабочего и холостого ходов ударника, повысив, при сохранении энергии единичного удара, частоту ударов.

Пневмоударный механизм с дросселями впуска меньших геометрических размеров со стороны камер рабочего и холостого ходов ударника при большем геометрическом сечении дросселя, расположенного между дросселями с меньшими сечениями, позволяет усреднить эффекты впуска воздуха в обеих рабочих камерах и понизить противодавление с их стороны. Пневмоударный механизм (рис. 3) устроен и работает следующим образом.

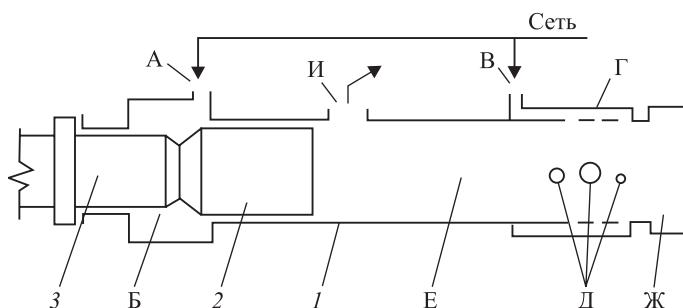


Рис. 3. Принципиальная схема пневмоударного механизма.
Обозначения см. в тексте

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по дроссельному каналу А в камеру Б наддува холостого хода и одновременно по дроссельному каналу В в кольцевую камеру Г форсажа рабочего хода, откуда по каналам Д круглого сечения различных размеров в камеру Е рабочего и камеру Ж пневматического буфера в цилиндре I. В зависимости от положения ударника 2 после перекрытия им каналов Д камера Ж разобщается с камерой Г. Каналы Д образуют ярусы с меньшим размером отверстия со стороны ка-

меры Ж и затем последовательно большим и далее меньшим размерами отверстий в противоположную сторону. Каналы Д могут быть выполнены либо по образующей, либо под углом к ней. Опорожнение камер Б и Е происходит периодически в зависимости от положения ударника через канал И выпуска. Под действием разности силовых импульсов со стороны камер Б, Е и Ж ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 3.

Как было отмечено, предложенное техническое решение дает возможность из-за меньшего противодавления воздуха понизить интенсивность торможения ударника со стороны обеих рабочих камер и за меньшее время его перемещения обеспечить расчетную величину хода. Это позволит при тех же расходах воздуха получить больший участок разгона ударника и более интенсивное расширение воздуха в объемах камер, тем самым использовать большую часть внутренней его энергии для увеличения кинетической энергии ударника, передаваемой рабочему инструменту.

Пневмоударный механизм (рис. 4) с дросселями впуска с одинаковыми геометрическими сечениями со стороны камеры рабочего хода устроен и работает следующим образом.

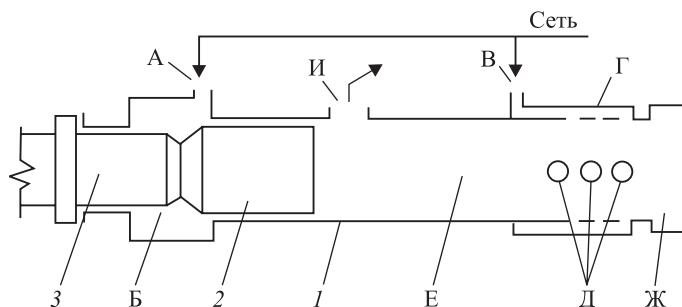


Рис. 4. Принципиальная схема пневмоударного механизма.
Обозначения см. в тексте

Сжатый воздух из сети постоянно поступает по дроссельному каналу А в камеру Б наддува холостого хода и одновременно по дроссельному каналу В в кольцевую камеру Г форсажа рабочего хода, откуда по каналам Д круглого сечения различных размеров в камеру Е рабочего и камеру Ж пневматического буфера в цилиндре 1. В зависимости от положения ударника 2 после перекрытия им каналов Д камера Ж разобщается с камерой Г. Каналы Д образуют ярусы и могут быть выполнены либо по образующей, либо под углом к ней. Отверстия имеют одинаковые размеры. Опорожнение камер Б, Е и Ж осуществляется периодически в зависимости от положения ударника через канал И выпуска. Под действием разности силовых импульсов со стороны камер Б, Е и Ж ударник совершает возвратно-поступательное движение и периодически наносит удары по инструменту 3.

Подобное размещение дросселей впуска со стороны камеры холостого хода, как представляется авторам, возможно. Положительным в таком решении является выполнение дросселей впуска с одинаковыми геометрическими сечениями, что сокращает номенклатуру инструмента и упрощает технологию изготовления.

Физико-математическое описание рассмотренных технических решений пневмоударного механизма по схеме записи уравнений рабочего процесса одинаково. Подобны также ограничения на изменения давления и температуры в рабочих камерах. Отличительным свойством в ограничениях по впуску являются различия проходных сечений дросселей впуска при равенстве протяженности участка их расположения, который не должен превышать величины длины ударника по образующей между его торцами.

В связи с отмеченным, ограничимся обобщенной записью уравнений составляющих бародинамические, термодинамические и баромеханические процессы, протекающие в рабочих камерах синтезированных пневмоударных механизмов.

Введем обозначения к расчетной схеме, ограничениям по давлению, температуре и изменению проходных сечений для дросселей впуска и канала выпуска отработавшего воздуха в зависимости от координаты положения ударника.

Обозначения к расчетной схеме (рис. 5) для решений впуска воздуха, представленных на рис. 1–4:

V_K, V_p, V_x – объемы предкамеры, камер рабочего и холостого ходов; $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ – площади проходных сечений дросселей впуска в камеру рабочего хода;

ω_A – площадь проходного сечения выпускного канала;

P_C, P_A – давление воздуха в сети и атмосфере;

θ_C, θ_A – температура воздуха в сети и атмосфере;

P_K, P_p, P_x – давление воздуха в камерах с объемами V_K, V_p, V_x ;

$\theta_K, \theta_p, \theta_x$ – температура воздуха в камерах с объемами V_K, V_p, V_x ;

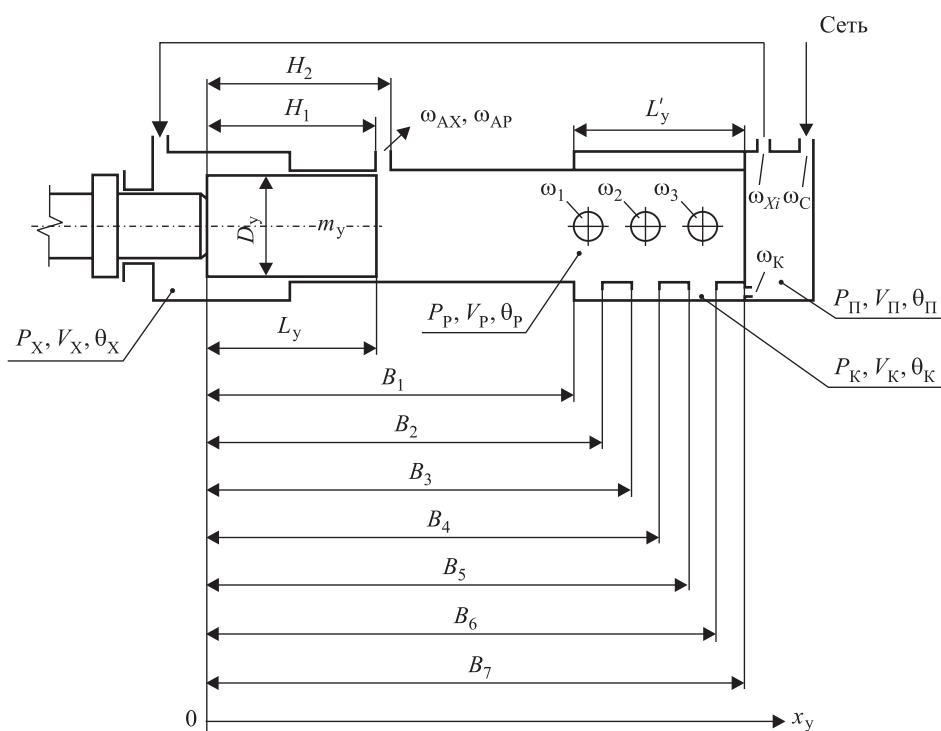


Рис. 5. Расчетная схема синтезированного пневмоударного механизма

S_y , m_y , L_y – торцевая площадь, масса и длина ударника;
 F_H – усилие нажатия на корпус;
 H_1, H_2 – протяженность участков до координат выпуска воздуха из камер холостого и рабочего хода;
 $B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_6$ – протяженность координаты участков между дросселями впуска площадей $\omega_1, \omega_2, \omega_3$;
 $W = (2kR/(k-1))^{1/2}$, где k , R – показатель процесса и газовая постоянная.

Ограничения для коэффициентов бародинамических функций φ изменения давления воздуха в камерах с объемами V_p, V_k, V_{Π}, V_X

– для функции $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_X$

$$\varphi_{i,j} = \begin{cases} 0,5283 > P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} ((P_i/P_j)^{2/k} - (P_i/P_j)^{(k+1)/k})^{1/2}, \\ 0,5283 > P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} ((P_j/P_i)^{2/k} - (P_j/P_i)^{(k+1)/k})^{1/2}; \end{cases} \quad (1)$$

– для функции $\varphi_K, \varphi_C, \varphi_{\Pi}, \varphi_{X1}$

$$\varphi_{i,j} = \begin{cases} 0,5283 > P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} ((P_i/P_j)^{2/k} - (P_i/P_j)^{(k+1)/k})^{1/2}, \\ 0,5283 > P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} ((P_j/P_i)^{2/k} - (P_j/P_i)^{(k+1)/k})^{1/2}; \end{cases} \quad (2)$$

– для функции ω_{AP}, ω_{AX}

$$\varphi_{i,j} = \begin{cases} 0,5283 > P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_i/P_j & P_i \Theta_i^{1/2} ((P_i/P_j)^{2/k} - (P_i/P_j)^{(k+1)/k})^{1/2}, \\ 0,5283 > P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} \cdot 0,2588, \\ 0,5283 \leq P_j/P_i & -P_j \Theta_j^{1/2} ((P_j/P_i)^{2/k} - (P_j/P_i)^{(k+1)/k})^{1/2}. \end{cases} \quad (3)$$

Ограничения коэффициентов термодинамических функций Ω изменения температуры воздуха в камерах с объемами V_p, V_k, V_{Π}, V_X

– для функции $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3, \varphi_X$

$$\Omega_{i,j} = \begin{cases} \varphi_{i,j} > 0 & k - \Theta_i / \Theta_j, \\ \varphi_{i,j} \leq 0 & k - 1; \end{cases} \quad (4)$$

– для функции $\varphi_K, \varphi_C, \varphi_{\Pi}, \varphi_{X1}$

$$\Omega_{i,j} = \begin{cases} \varphi_{i,j} > 0 & k - \Theta_i / \Theta_j, \\ \varphi_{i,j} \leq 0 & k - 1; \end{cases} \quad (5)$$

– для функции $\varphi_{AP}, \varphi_{AX}$

$$\Omega_{i,j} = \begin{cases} \varphi_{i,j} > 0 & k - \Theta_i / \Theta_j, \\ \varphi_{i,j} \leq 0 & k - 1. \end{cases} \quad (6)$$

Ограничения для дросселей впуска и каналов выпуска.

Дроссели $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ имеют постоянные геометрические сечения, но впуск в камеру рабочего хода определяется положением ударника, при котором дроссели закрываются или открываются последовательно.

Канал выпускa ω_A с постоянным геометрическим сечением периодически перекрывается при холостом и рабочем ходах ударника.

Каналы впуска ω_K , ω_X и ω_C имеют постоянные геометрические сечения и ударником не перекрываются, но расход воздуха будет изменяться в соответствии с уравнениями (1)–(6) и расходом по пути [4].

С учетом изменений давления воздуха в камерах дроссельного пневмоударного механизма, запишем систему уравнений бародинамической составляющей

$$\begin{cases} \frac{dP_p}{dt} = \frac{k}{(V_p - x_y S_y)} \left[W(\omega_1(x_y)\varphi_1 + \omega_2(x_y)\varphi_2 + \omega_3(x_y)\varphi_3 - \omega_{AP}(x_y)\varphi_{AP}) + P_p \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{dP_K}{dt} = \frac{k}{V_K} [W(\omega_K \varphi_K - \omega_1(x_y)\varphi_1 - \omega_2(x_y)\varphi_2 - \omega_3(x_y)\varphi_3)], \\ \frac{dP_X}{dt} = \frac{k}{(V_X - x_y S_y)} \left[W(\omega_X \varphi_X - \omega_{AP}(x_y)\varphi_{AP}) - P_X \frac{dx_y}{dt} S_y \right], \\ \frac{dP_{\Pi}}{dt} = \frac{k}{V_{\Pi}} [W(\omega_C \varphi_C - \omega_K \varphi_K - \omega_{XT} \varphi_{XT})]. \end{cases} \quad (7)$$

При условии рассмотрения работы дроссельного пневмоударного механизма с учетом температурных изменений воздуха в камерах необходимо ввести соответствующие зависимости для термодинамической составляющей

$$\begin{cases} \frac{d\theta_p}{dt} = \frac{\theta_p}{P_p(V_p - x_y S_y)} \left[W(\omega_1(x_y)\varphi_1 \Omega_1 + \omega_2(x_y)\varphi_2 \Omega_2 + \omega_3(x_y)\varphi_3 \Omega_3 - \omega_{AP}\varphi_{AP} \Omega_{AP}) + (k-1)P_p \left(\frac{dx_y}{dt} \right) S_y \right], \\ \frac{d\theta_K}{dt} = \frac{\theta_K}{P_K V_K} [W(\omega_K \varphi_K \Omega_K - \omega_1(x_y)\varphi_1 \Omega_1 - \omega_2(x_y)\varphi_2 \Omega_2 - \omega_3(x_y)\varphi_3 \Omega_3)], \\ \frac{d\theta_X}{dt} = \frac{\theta_X}{P_X(V_X + x_y S_y)} \left[W(\omega_X \varphi_X \Omega_X - \omega_{AX}(x_y)\varphi_{AX} \Omega_{AX}) - (k-1)P_X \left(\frac{dx_y}{dt} \right) S_y \right], \\ \frac{d\theta_{\Pi}}{dt} = \frac{\theta_{\Pi}}{P_{\Pi} V_{\Pi}} [W(\omega_C \varphi_C \Omega_C - \omega_K \varphi_K \Omega_K - \omega_{XT} \varphi_{XT} \Omega_{XT})]. \end{cases} \quad (8)$$

Баромеханическая составляющая

$$\begin{cases} \frac{d^2 x_y}{dt^2} = S_y (P_X - P_p) / m_y & \text{при } x_y > 0, \\ \frac{d^2 x_K}{dt^2} = (S_y (P_X - P_p) + F_H) / m_K & \text{при } x_K > 0. \end{cases} \quad (9)$$

Ограничения для (9)

$$\begin{cases} \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_o = -k_y \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_y & \text{при } x_y \leq 0, \\ \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_o = k_k \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_y & \text{при } x_k \leq 0. \end{cases} \quad (10)$$

В (10) k_y и k_k – коэффициенты отскока ударника от хвостовика инструмента и корпуса от буртика инструмента;

$$\begin{aligned} \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_o, \left(\frac{dx_y}{dt} \right)_y & \text{ – скорости отскока и удара ударника;} \\ \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_o, \left(\frac{dx_k}{dt} \right)_y & \text{ – скорости отскока и соударения корпуса с буртиком} \end{aligned}$$

рабочего инструмента.

Ограничения на координаты и геометрические площади дросселей впуска и каналов выпуска, а также их рациональные соотношения, как правило, являются основной задачей моделирования рабочего процесса пневмоударного механизма.

Представим указанные ограничения для дросселей впуска с одинаковым диаметром

$$\omega_1(x_y) = \begin{cases} (x_y + L_y) \leq B_1 \\ B_1 < (x_y + L_y) \leq B_3 \end{cases} \left| \omega_1 = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) (n-1), \right. \quad (11)$$

$$\omega_2(x_y) = \begin{cases} B_3 < (x_y + L_y) \leq B_1 \\ B_5 < (x_y + L_y) < B_6 \end{cases} \left| \omega_2 = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) (n-2), \right. \quad (12)$$

$$\omega_3(x_y) = \left| B_6 < (x_y + L_y) < B_7 \right| \omega_3 = 0. \quad (13)$$

Ограничения для каналов выпуска из камеры рабочего хода –

$$\omega_{AP}(x_y) = \begin{cases} x_y = 0 \\ 0 < (x_y + L_y) < H_1 \\ H_1 < (x_y + L_y) < H_2 \\ H_2 < (x_y + L_y) \end{cases} \left| \begin{array}{l} \omega_{AP} = \max(\omega_{AP}), \\ \omega_{AP} = \max(\omega_{AP}), \\ \omega_{AP} = 0,5\max(\omega_{AP}), \\ \omega_{AP} = 0; \end{array} \right. \quad (14)$$

из камеры холостого хода –

$$\omega_{AX}(x_y) = \begin{cases} x_y = 0 \\ 0 < x_y < H_1 \\ H_1 < x_y < H_2 \\ H_2 < x_y \end{cases} \left| \begin{array}{l} \omega_{AX} = 0, \\ \omega_{AX} = 0, \\ \omega_{AX} = 0,5\max(\omega_{AP}), \\ \omega_{AX} = \max. \end{array} \right. \quad (15)$$

Как отмечалось в описаниях синтезированных механизмов, дроссельные каналы впуска могут быть выполнены наклонными под углом к образующей

внутренней поверхности полого цилиндра. Такое исполнение позволяет увеличить количество дросселей без изменения их геометрических размеров на том же участке управления; расположить дроссели с касанием или перекрытием относительно друг друга и обеспечить плавный, без скачков, впуск воздуха. При этом упрощаются описания ограничений для функций (11)–(15) открытия и закрытия геометрических сечений дросселей впуска воздуха в камеру рабочего хода, характерные для начала и окончания впуска и выпуска в зависимости от размещения дросселей впуска и поставленных целей.

Указанные особенности очевидны и иллюстрируются расчетной схемой на рис. 6 применительно к камере рабочего хода и изменением в описании ограничений на координаты и площади $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ начала и окончания впуска (14) в сравнении с (11)–(13).

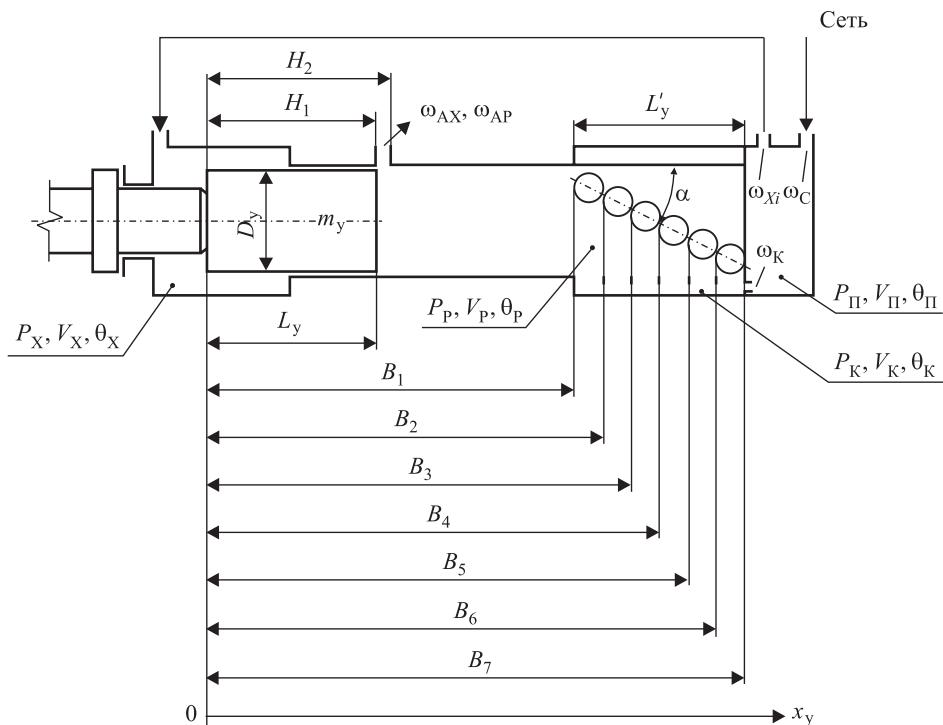


Рис. 6. Расчетная схема синтезированного пневмоударного механизма

Аналогичные рассуждения можно отнести к конструктивным решениям дросселей впуска для камеры холостого хода.

При сравнении системы впуска воздуха в камеру рабочего хода на рис. 6 и 5 получаем: $\Sigma\omega_{1-7} > \Sigma\omega_{1-6}$ и $(B_1 \dots B_7) \geq (B_1 \dots B_6)$, но $L_y < L'_y$ и $L_y = L'_y$ при всех остальных равных геометрических размерах.

Таким образом, в уравнениях системы (7) и (8) комплексы $[\omega_1(x_y)\varphi_1 + \omega_2(x_y)\varphi_2 + \omega_3(x_y)\varphi_3]$ и $[\omega_1(x_y)\varphi_1\Omega_1 + \omega_2(x_y)\varphi_2\Omega_2 + \omega_3(x_y)\varphi_3\Omega_3]$ можно, с достаточной точностью для инженерных расчетов, записать в виде $[\omega_p(x_y)\varphi_p]$ и $[\omega_p(x_y)\varphi_p\Omega_p]$.

Изменится также запись (11) для ограничений координат впуска воздуха в камеру рабочего хода: строки для изменения $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ могут быть, с незначительными отклонениями, записаны в виде

$$\omega_p(x_y) = \begin{cases} (x_y + L_y) \leq B_1 & \omega_p = \left(\frac{\pi D}{2 \cos \alpha} \right) b, \\ B_1 < (x_y + L_y) < \left(\frac{B_7 - B_1}{2} \right) & \omega_p = \left(\frac{\pi D}{2 \cos \alpha} \right) b, \\ \left(\frac{B_7 - B_1}{2} \right) < (x_y + L_y) < B_7 & \omega_p = 0, \end{cases} \quad (16)$$

где α – угол наклона линии, по которой выполнены дроссели впуска;

$\left(\frac{\pi d}{2} \right)$ – половина длины окружности диаметром D ;

$b = d$ – диаметр дросселя впуска при условии равенства их диаметров.

В (16) при различных значениях диаметров дросселей, размещенных на половине длины окружности диаметром D , предпочтительно принимать среднее арифметическое значение b :

$$b = \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n}, \quad (17)$$

где n – количество дросселей впуска.

Отметим, что использование половины длины окружности, на проекции которой размещаются отверстия, гарантирует сохранение прочностных свойств трубчатой части цилиндра корпуса, которая конструктивно, как правило, усиливается стаканом, закрепленным резьбовым соединением с корпусом.

Выводы. 1. Выполнение дросселей впуска в виде круглых отверстий упрощает технологию их изготовления.

2. Управление впуском воздуха как в камеру рабочего хода, так и в камеру холостого хода позволяет изменять количественно и качественно расход воздуха.

3. Выполнение дросселей впуска воздуха в камеры наклонными увеличивает их количество без изменения геометрических сечений, сохранив общие размеры пневмоударного механизма, и протяженность участка управления впуском.

4. Расположение дросселей впуска воздуха под углом к образующей цилиндра осуществляет плавный впуск, что обеспечивает устойчивый рабочий режим пневмоударного механизма.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абраменков Э.А., Абраменков Д.Э. Пневматические механизмы машин ударного действия. Новосибирск: НГАСУ (Сибстрин), 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. 376 с.
3. Абраменков Д.Э., Абраменков Э.А., Гладышев Г.В., Кутумов А.А. Управляемые камеры с присоединенным объемом в дроссельном пневмоударном механизме // Изв. вузов. Строительство. 2009. № 8. С. 89–94.
4. Идельчик И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. М.: Машиностроение, 1975. 559 с.

Малышева Юлия Эдуардовна, вед. инж.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Дмитриев Михаил Петрович, асп.

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Кутумов Алексей Анатольевич, д-р техн. наук, проф.

Рубцовский институт (филиал) Алтайского государственного технического университета

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

Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин)

Получено 21.01.16

Malysheva Yuliya Eduardovna, Lead engineer

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

Dmitriev Mikhail Petrovich, Post-graduate Student

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

Kutumov Aleksey Anatol'evich, DSc, Professor

Rubtsovsk Institute branch of Altai State Technical University, Russia

Abramenkov Eduard Alexandrovich, DSc, Professor

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

AIR PERCUSSION MECHANISMS WITH CONTROLLED THROTTLES INTAKE AND A DESCRIPTION OF THEIR BARO- AND THERMODYNAMIC PROCESSES

Considers synthesized pneumatic percussion mechanism with an improved design solution. Proposed physical-mathematical description of their workflow.

К e y w o r d s: intake throttle, pneumatic buffer chamber, air percussion mechanism, drummer, barodynamics, thermodynamics, horodinamics, baromechanics.

REFERENCES

1. A b r a m e n k o v E.A., A b r a m e n k o v D.E. Pnevmaticheskie mekhanizmy mashin udarnogo deystviya [Pneumatic mechanisms of impact machines: throttle, inkjet, without spool, valveless: Ref. manual]. Novosibirsk, 1993. 430 p. (in Russia)
2. K u t u m o v A.A., A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A. Navesnye pnevmaticheskie moloty dlya razrabotki merzlykh gruntov: monografiya [Mounted pneumatic hammers for frozen ground excavation: monograph]. Novosibirsk, 2008. 376 p. (in Russia)
3. A b r a m e n k o v D.E., A b r a m e n k o v E.A., G l a d y s h e v G.V., K u t u m o v A.A. Upravlyayemye kamery s prisoedinennym ob"emom v drossel'nom pnevmoudarnom mekhanizme [Operated chambers with the attached volume in the throttle pneumoshock mechanism]. News of Higher Educational Institutions. Construction. 2009. No. 8. Pp. 89–94. (in Russia)
4. I d e l c h i k I.E. Spravochnik po gidravlicheskim soprotivleniyam [The Handbook of hydraulic resistance]. Moscow, Mechanical Engineering, 1975. 559 p. (in Russia)

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 532.542

Л.И. ВЫСОЦКИЙ

ЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НОВОЙ МОДЕЛИ СТРОЕНИЯ ТУРБУЛЕНТНЫХ ПРОДОЛЬНО-ОДНОРОДНЫХ ПОТОКОВ ПРИ АНАЛИЗЕ ИХ ПАРАМЕТРОВ*

Часть II

Во второй части статьи приводится первый пример реализации предлагаемого метода при исследовании вариабельности дефицита скорости. Удалось продемонстрировать получение новых результатов. В частности, установлено совпадение зависимостей $D = D(y/r)$ для гладких ($\Delta = 0$) при больших числах Рейнольдса ($Re_d > 10^5$) и для вполне шероховатых труб, т. е. при наличии для них квадратичной зоны сопротивления. При этих условиях автомодельность имеет место, а в остальных не существует.

Ключевые слова: формула Кольбрука, формула Прандтля, число Рейнольдса, дефицит скорости, новая модель строения турбулентного потока.

Продемонстрируем изложенную в первой части статьи возможность использования вычислительных экспериментов на важных примерах.

Пример 1. Известно, что начиная с основополагающих результатов, полученных Л. Прандтлем [1] и Т. Карманом [2], большое внимание уделяется «закону дефицита скорости». Его применение продолжается до сих пор. По Л. Прандтлю дефицит скорости D для потока в трубе составляет¹:

$$D = \frac{u_{\max} - u}{u_*} = \frac{1}{k} \ln \frac{y}{L} = 2,5 \ln \frac{y}{L}, \quad (12)$$

а по Т. Карману

$$D = -\frac{1}{k} \left[\ln \left(1 - \sqrt{1 - \frac{y}{L}} \right) + \sqrt{1 - \frac{y}{L}} \right]. \quad (13)$$

Изображения зависимостей представлены в графической форме на рис. 2.

В дальнейшем при ограниченном диапазоне изменения числа Рейнольдса были получены результаты (рис. 3), свидетельствующие о некоторой зависимости дефицита скорости от относительной шероховатости в центральной части турбулентного ядра.

* См.: Высоцкий Л.И. Эффективное использование новой модели строения турбулентных продольно-однородных потоков при анализе их параметров // Изв. вузов. Строительство. 2016. № 1. С. 90–97.

¹ В статье продолжается нумерация формул и рисунков части I.

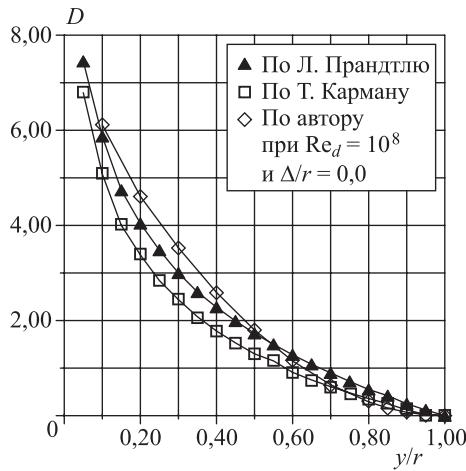


Рис. 2. Графики зависимости $D = D(y/r)$

С помощью данной методики выполнены расчеты распределения осредненных скоростей в широком диапазоне значений числа Рейнольдса и относительной шероховатости с использованием программ, предложенных в [3]. На рис. 4 представлено сопоставление опытных данных И. Никиурадзе с расчетом автора при гладких стенках в широком диапазоне чисел Рейнольдса. Как видно, они находятся в достаточно хорошем согласии. Естественно, проведению вычислительного эксперимента не могут помешать ни предельные значения числа Рейнольдса, ни относительная шероховатость, ни супермалые расстояния от твердой стенки.

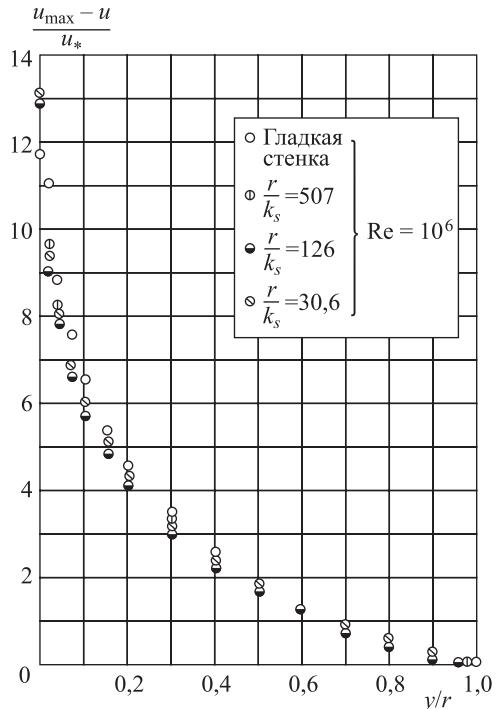


Рис. 3. Зависимость дефицита скорости от r/k_s по данным И. Никиурадзе при течениях в круглых трубах [4]. По И. Никиурадзе: $(U - u)/u_*$ – дефицит скорости; R и r – радиус; k_s – высота выступа шероховатости

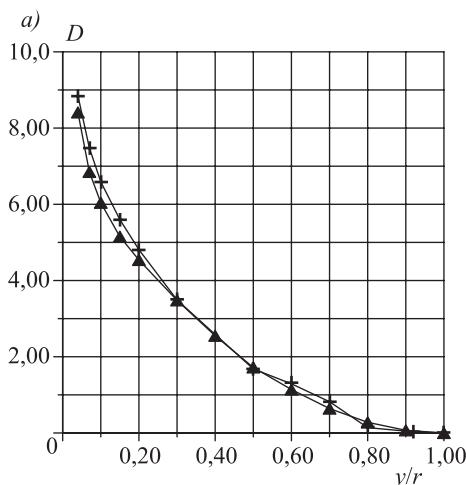
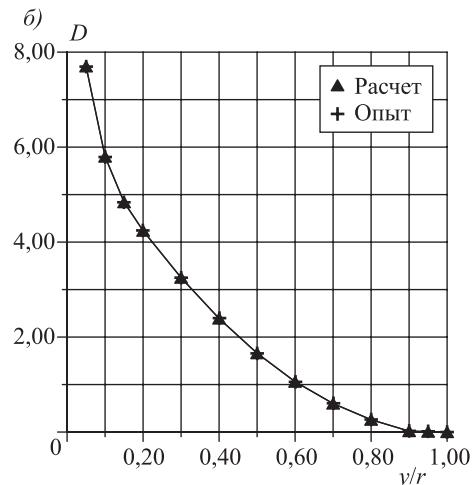


Рис. 4. Сопоставление расчетов с опытными данными И. Никиурадзе при $Re_d = 19\ 200$ (а) и $Re_d = 105\ 000$ (б)



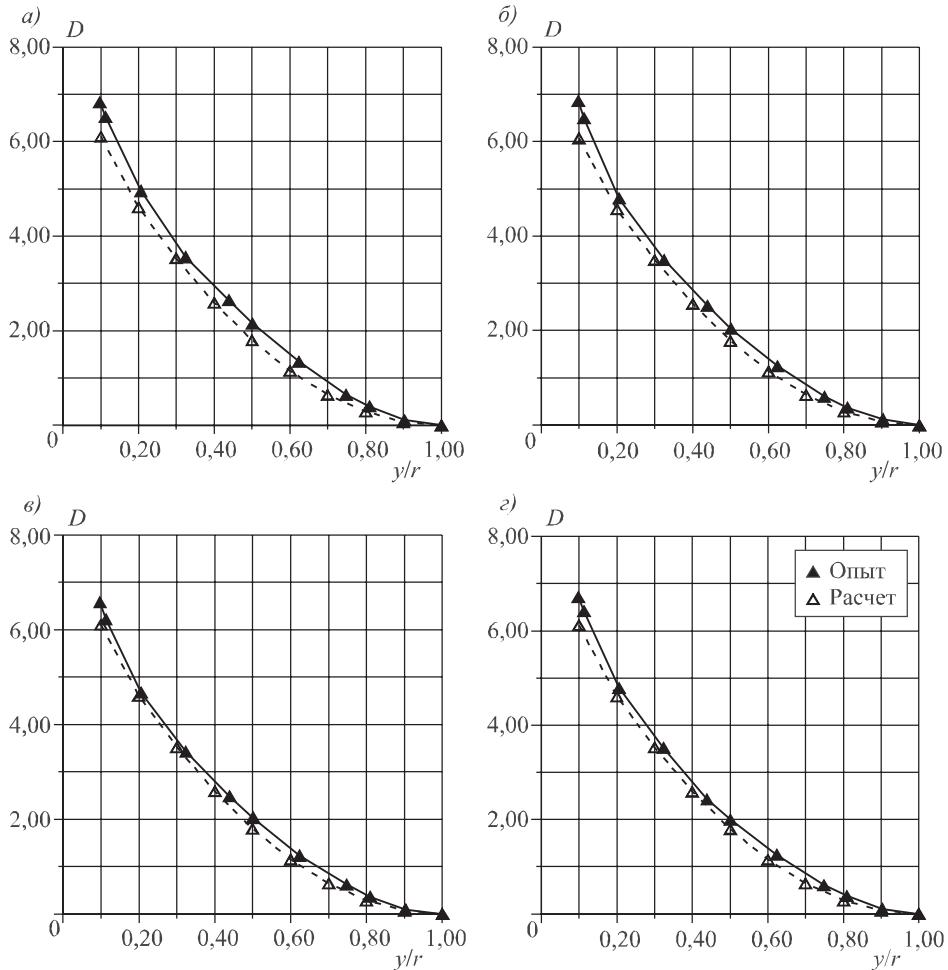


Рис. 5. Сопоставление опытных данных М. Загаролы с расчетом по изложенному методу при $Re_d = 31\,577$ (а), $Re_d = 185\,430$ (б), $Re_d = 1023\,800$ (в), $Re_d = 10\,249\,000$ (г)

Сопоставим опытные данные М. Загаролы [5] с расчетом по изложенному методу в очень широком диапазоне значений чисел Рейнольдса (рис. 5).

Более детальные исследования «закона дефицита скорости» на автомодельность (особенно при доквадратичной зоне сопротивления) с помощью физических экспериментов достаточно хлопотны и не очень надежны. Предпочтем подобной процедуре указанный вычислительный эксперимент. Вначале приведем полученные данные по выявлению автомодельности в случае гладких стенок, т.е. при условии $\Delta/r = 0$ (рис. 6).

Рис. 6, а наглядно свидетельствует о **полном отсутствии** автомодельности, причем при увеличении значения числа Рейнольдса в диапазоне от 3000 до 7500 наблюдается **уменьшение** дефицита скорости. Рис. 6, б наоборот показывает, что при дальнейшем росте числа Рейнольдса дефицит скорости **увеличивается**. Легко заметить, что начиная со значения $Re_d = 100\,000$, все кривые сливаются. Это означает, что с этого момента все турбулентные потоки при гладких стенках становятся **автомодельными**.

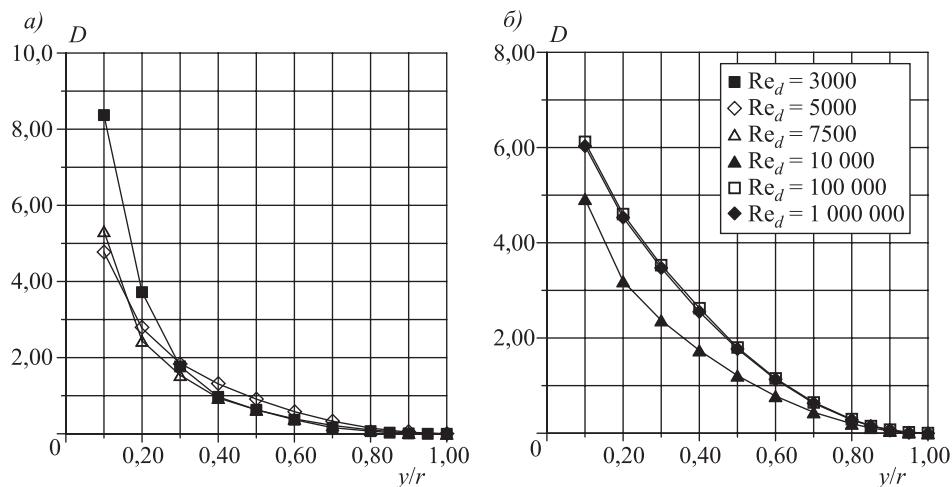


Рис. 6. Графики зависимости дефицита скорости $D = D(y/r)$ от числа Рейнольдса в случае гладких стенок ($\Delta/r = 0$)

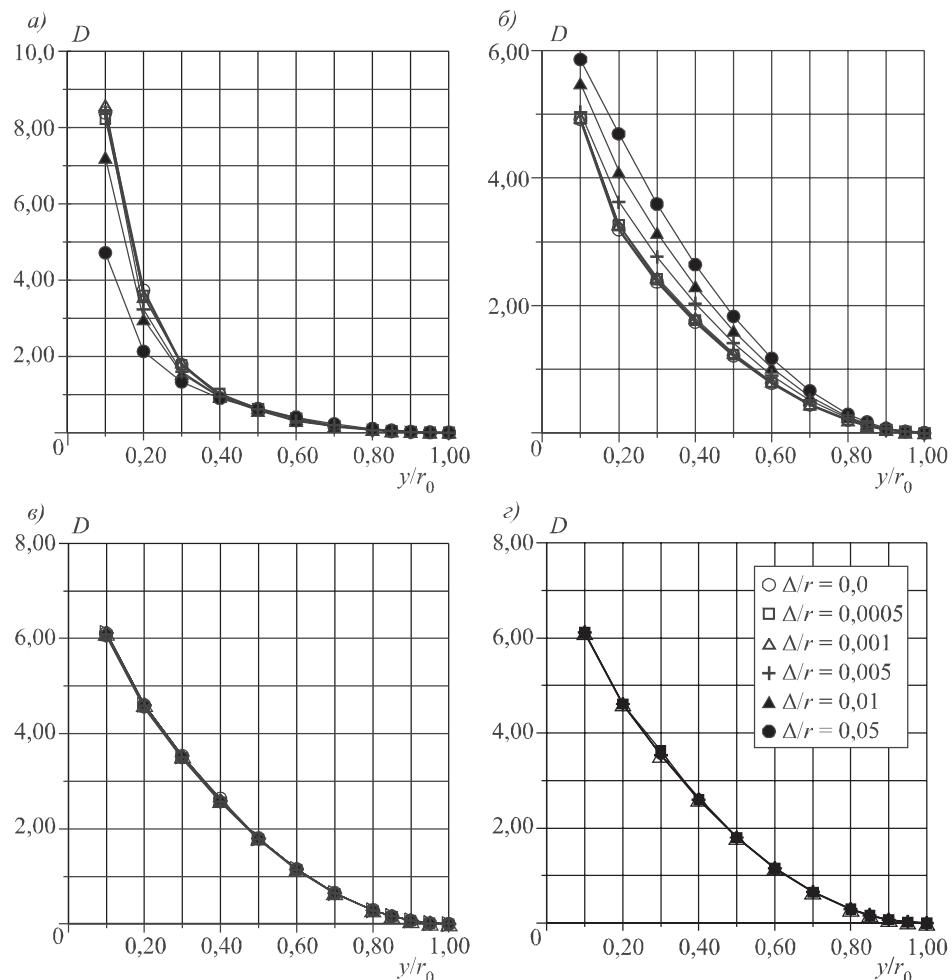


Рис. 7. Зависимость дефицита скорости от относительной шероховатости при $Re_d = 3000$ (а); $Re_d = 10^4$ (б); $Re_d = 10^5$ (в); $Re_d = 10^6$ (г)

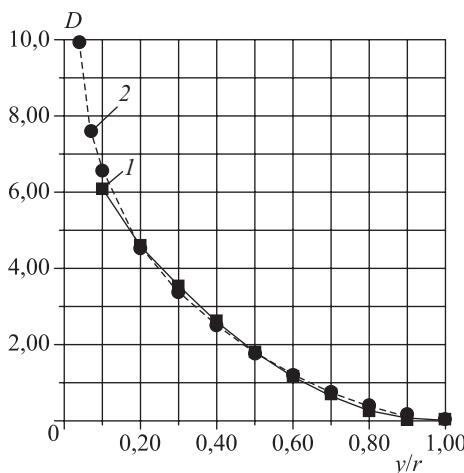


Рис. 8. Совмещенные графики зависимости $D = D(y/r)$ при $Re_d > 10^6$

1 – в случае гладких стенок, когда $\Delta/r = 0,00$, и при наличии квадратичной зоны сопротивления для всех остальных значений относительных шероховатостей; 2 – опытные данные И. Никурадзе при $Re_d = 1110\,000$

дефицита скорости». Он, как видно, не подтверждается даже в зоне логарифмического распределения скоростей. Точнее, постулат об автомодельности дефицита скорости носит ограниченный характер, а именно, в случае гладких стенок ($\Delta = 0$) он имеет место при условии $Re_d > 10^5$, а в случае, когда присутствует шероховатость ($\Delta > 0$), – после достижения квадратичной зоны сопротивления. Во всех остальных случаях имеет место **кусочная автомодельность** (см.: [6]).

Выводы. 1. С помощью предлагаемого метода показано отсутствие автомодельности при доквадратичной зоне сопротивления.

2. Установлено, что как для гладких труб ($\Delta = 0$), так и для вполне шероховатых, автомодельность имеет место при условии $Re_d > 10^5$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Prandtl L. Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung // V.D.I. 1933. 77, No. 5. S. 107–110.
2. K arman T.Y. Mechanical similarity and turbulence (in German) // Nachrichten von der Gesellschaften der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch Physikalische Klasse. 1930. S. 56–76.
3. Высоцкий Л.И., Высоцкий И.С. Продольно-однородные осредненные турбулентные потоки. СПб.: Лань, 2015. 672 с.
4. Альтшуль А.Д. Гидравлические сопротивления. М.: Недра, 1970. 216 с.
5. Zagarola M.V., Smits A.Y. Mean – flow scaling of turbulent pipe flow // J. Fluid Mech. 1998. Vol. 373. P. 33–79.
6. Высоцкий Л.И. К вопросу об автомодельности течений в продольно-однородных турбулентных потоках // Науч. журн. Рос. НИИ проблем мелиорации. 2013. № 2 (10). С. 130–156.

Этот вывод является первым из результатов, полученных с помощью вычислительного эксперимента.

На рис. 7 показана зависимость дефицита скорости от относительной шероховатости (при широком диапазоне изменения ее значений от $\Delta/r = -0,0005$ до $\Delta/r = 0,05$) при разных значениях чисел Рейнольдса.

На рис. 8 приведены любопытные данные, свидетельствующие о совпадении зависимостей $D = D(y/r)$ для гладких труб ($\Delta = 0$) при больших числах Рейнольдса ($Re_d = 10^8$) и для вполне шероховатых труб, т. е. при наличии квадратичной зоны сопротивления.

Таким образом, данными вычислительного эксперимента опровергается гипотеза Л. Прандтля и Т. Кармана об автомодельности «закона

Высоцкий Лев Ильич, д-р техн. наук, проф.
Саратовский государственный технический университет

Получено после доработки 11.01.16

Vysotskiy Lev Il'ich, DSc, Professor
Saratov State Technical University, Russia

EFFICIENT USE A NEW MODEL OF TURBULENT STRUCTURE OF A LONGITUDINALLY-UNIFORM FLOW WHEN ANALYZING THEIR PARAMETERS

Part II

In the second part of the paper is the first example of implementation of the proposed method in the study of the variability of the velocity deficit. Was able to demonstrate the acquisition of new results. In particular, the coincidence set of dependencies $D = D(\psi/r)$ for smooth pipe ($\Delta = 0$) at high Reynolds numbers ($Re_d > 10^5$) and for very rough pipes, i.e. when the quadratic-handfield for them resistance zone. Under these conditions, self-similarity, and the rest does not exist.

Keywords: the formula Colebrook, the formula of Prandtl, the Reynolds number, the velocity deficit, a new model for the structure of turbulent flow.

REFERENCES

1. Prandtl L. Neuere Ergebnisse der Turbulenzforschung. V.D.I. 1933. B. 77. No. 5. S. 107–110.
2. Karmann T.Y. Mechanical similarity and turbulence (in German). Nachrichten von der Gesellschaften der wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch Physikalische Klasse. 1930. S. 56–76.
3. Vysotskiy L.I., Vysotskiy I.S. Probol'no-odnorodnye osrednenennye turbulentnye potoki [Longitudinally-averaged homogeneous turbulent flows]. St.-Petersburg, Lan', 2015. 672 p. (in Russia)
4. Al'tshul' A.D. Gidravlicheskie soprotivleniya [Hydraulic resistance]. Moscow, Nedra, 1970. 216 p. (in Russia)
5. Zagariola M.V., Smits A.Y. Mean – flow scaling of turbulent pipe flow. J. Fluid Mech. 1998. Vol. 373. Pp. 33–79.
6. Vysotskiy L.I. K voprosu ob avtomodel'nosti techeniy v probol'no-odnorodnykh turbulentnykh potokakh [To a question of self-similarity of currents in longitudinally uniform turbulent streams]. Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii [Scientific magazine of the Russian scientific research institute of problems of melioration]. 2013. No. 2(10). Pp. 130–156. (in Russia)

УДК 662.63

О.Э. КОШЕЛЕВА, В.А. ЛОГВИНЕНКО

ТЕРМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Часть I

В статье проанализировано поведение древесины березы и сосны при нагреве, рассмотрены процессы пиролиза и горения. Приведены данные кинетического анализа, модели тепловых процессов.

Ключевые слова: биотопливо, древесина березы, термический анализ, кинетика, пиролиз, горение.

Перспективными задачами современного естествознания являются поиск альтернативных углеводородам источников энергии и рациональное использование природных ресурсов.

Древесина используется в нашей стране весьма разнообразно, одним из основных направлений считается ее применение в качестве источника теплоты – топлива. Биотопливом второго поколения служат отходы переработки древесины в виде гранул (пеллет) или брикетов. Теплотворная способность топлива в виде пеллет выше в сравнении с дровами или щепой, а склонность к самовоспламенению понижена, поэтому наиболее целесообразна переработка древесных отходов в этой форме.

При росте растений в них аккумулируется огромное количество солнечной энергии, часть которой выделяется в процессе горения древесины. Основную массу древесины (50–60 %) составляет целлюлоза; в одревесневших частях, имеющих более высокую теплотворную способность, содержится лигнин. В хвойных породах деревьев доля лигнина около 30 %, в лиственных породах этого компонента меньше – 18–24 % [1].

Разные виды древесных пород отличаются теплотой сгорания. По склонности к возгоранию и огнестойкости древесные породы делятся на стойкие с индексом огнестойкости 4–4,5 (для абсолютно негорючего материала этот индекс максимальен и равен 10), среднестойкие и нестойкие (индексы 2–3,5 и 1,1–1,5 соответственно). Широко распространенные в Сибири породы деревьев относятся к нестойким (сосна) и среднестойким (береза). Породы с разными группами огнестойкости были выбраны в качестве объектов исследования. В данной работе рассмотрен термический анализ древесины березы.

Процесс горения древесины сопровождается интенсивным тепло- и массообменом, выделением большого количества теплоты. В тепловых процессах при воздействии на древесину внешних источников различают пиролиз и горение. Пиролиз связан с нагревом древесины без доступа воздуха, горение – окислительно-восстановительный процесс при действии на древесину кислорода воздуха. Оба процесса имеют разные стадии, главные из которых внешний нагрев, связанный с подводом теплоты (эндотерми-

ческая реакция), и пламенная стадия – формирование постоянного пламени при горении газов (экзотермическая реакция).

Термодеструкция характеризуется следующими температурными интервалами. До температуры 105 °C из целлюлозы испаряется свободная влага. Стадия сушки древесины заканчивается в диапазоне температур около 150 °C, после чего начинается разложение биомассы с выделением газообразных продуктов; древесина приобретает коричневый оттенок.

При нагреве до 275 °C (эндотермический процесс) усиливается газоуделение и начинают разлагаться смолистые вещества древесины. Пламенная стадия наступает при достижении температуры 260 °C – древесина горит постоянно.

Экзотермическое разложение биомассы древесины происходит при температуре воспламенения 275–290 °C, сопровождается обильным образованием паров и газов. Древесина становится источником горения и горит даже после удаления внешнего источника тепла. За счет выделяющейся из нее теплоты температура в зоне горения резко увеличивается до 500–550 °C. Характер теплового процесса зависит от влажности древесины, температура может подниматься до 850–1200 °C. Остаток пиролиза – древесный уголь.

При температуре нагрева 120–150 °C летучие вещества включают пары уксусной кислоты, выделяющиеся при разложении древесины, и оксиды углерода (соотношение оксида и диоксида 1:2). На первой стадии пиролиза горит не твердое вещество древесины, а газообразные продукты, формирующие пламя.

В экзотермической реакции (температура около 275 °C) древесина обугливается, а в диапазоне температур 300–400 °C из угля удаляются остатки газообразных продуктов, количество которых составляет около 19 % от массы твердого биотоплива.

При прокаливании древесного остатка (диапазон температур 350–450 °C и выше) разлагается более стойкий ароматический лигнин, количество угля в котором в 1,5 раза выше, чем в целлюлозе; смолы – в 2 раза больше. Летучие продукты его разложения – смолы, оксиды углерода, метан и другие соединения.

Выход газов, жижки и углей на производстве обычно составляет соответственно для бересклета 15, 52 и 33 % (по массе), а для сосны – 18, 44 и 38 % [1]. Даже абсолютно сухая древесина при термическом разложении образует воду. При сухой перегонке количество углей составляет 35–45 % (таблица).

Термический анализ образцов древесины проводился на термовесах Netzsch Thermal Analyzer TG 209 F1. Кривые потери массы при пиролизе были получены в токе гелия (60 см³/мин). Кривые потери массы процессов горения были получены в протоке смеси аргона и кислорода (40 + 10 см³/мин); скорости нагрева 5, 10, 20, 30 К/мин, корундовый стандартный тигель, массы образцов ≈ 5 мг.

Результаты кинетического анализа (термоаналитические кривые) были обработаны с ис-

Количество продуктов древесины (в пересчете на абсолютно сухую древесину), мас. %

Продукт	Береска	Сосна
Уголь древесный	34,6	41,1
Газообразные продукты	33,74	29,65
Смола (деготь)	8,62	12,8
Вода	21,5	15,5

пользованием компьютерной программы NETZSCH Thermokinetics 2 [2], созданной на основе работ по теории и практике неизотермической кинетики. Кинетические кривые – это кривые потери массы, полученные при трех скоростях нагрева; они совместно обрабатывались с использованием разных программ. Специальный программный модуль «Model free» позволяет рассчитать величины энергии активации без знания топохимического уравнения и обнаружить стадийность процесса. Вариант расчета с линейной и нелинейной регрессией позволяет найти вид кинетического уравнения и анализировать последовательные и параллельные реакции разложения в многоступенчатых процессах. Основой расчета является уравнение Аррениуса:

$$k = Ae^{-E/RT}. \quad (1)$$

Скорость

$$V = kf(\alpha), \quad (2)$$

где $f(\alpha)$ – разные топохимические уравнения;

α – степень превращения реагентов (изменяется от 0 до 1).

Набор уравнений включает описание зародышеобразования, рост зародышей, химическую реакцию на межфазной границе и диффузионных процессов.

При поиске кинетических параметров процесса сначала анализируется ступенчатость процесса (программа «Model free» [2]). Величина энергии активации реакции рассчитывается в предположении одностадийности процесса по методу Фридмана, и анализируется ее постоянство от степени превращения α . При наличии зависимости расчетной величины энергии активации от степени превращения α процесс рассматривается как многостадийный. В этом случае используются методы линейной и нелинейной регрессии при поиске наилучшего набора топохимических уравнений для многостадийного процесса (с параллельными или последовательными реакциями) и F – тест для анализа оптимального кинетического описания.

Рассчитываемые в неизотермической кинетике величины E и lgA являются условными, однако полученная кинетическая информация может использоваться для сравнения процессов термического разложения серии веществ и для расчета изотермического процесса горения при любой температуре.

Подготовка образцов древесины (предварительная сушка) заключалась в циклическом нагреве измельченных образцов древесины в течение нескольких суток в сушильном шкафу при температуре 70 °C.

Обычно считается, что первая часть процесса горения древесины – это стадия окислительной деструкции ее компонентов, а вторая стадия – окисление углеродистого остатка с образованием CO₂.

При кинетическом анализе пиролиза и горения древесины были сделаны упрощения и допущения. Ступень окислительной деструкции компонентов рассматривали как глобальную реакцию (с выделением H₂O и CO₂) без учета разницы в процессах окисления разных компонентов древесины: гемицеллюлозы, целлюлозы и лигнина. Это делает кинетический анализ более формализованным, однако полученное формальное описание кинетики процессов позволяет рассчитать временные рамки процессов горения

разных образцов древесины в изотермических условиях при любых температурах.

Предварительно проведено сравнение интервалов пиролиза и окислительной термодеструкции древесины (скорость нагрева 10 град/мин, корундовый стандартный тигель); горение идет при меньших температурах, чем пиролиз в атмосфере гелия (рис. 1).

Для кинетического исследования была выбрана первая стадия термодеструкции по первому пику ДТГ при 220–360 °C (рис. 2–3).

Анализ кривых по методу Фридмана показал, что величина энергии активации непостоянна во всем интервале реакции, и процесс является многостадийным. Методом нелинейной регрессии было найдено математически наиболее корректное описание процесса как двухстадийной реакции с последовательными стадиями ($A \rightarrow B \rightarrow C$); топохимические уравнения: уравнение Аврами – Ерофеева и уравнение первого порядка:

Стадия A → B.

$$\text{An, } f_1(\alpha) = (1 - \alpha)/[-\ln(1 - \alpha)]^{0,28},$$

$$E_1 = 183 \pm 5 \text{ кДж/моль, } \lg A_1 = 15,1 \pm 0,4.$$

Стадия B → C.

$$F1, f_2(\alpha) = (1 - \alpha), E_2 = 187 \pm 3 \text{ кДж/моль,}$$

$$\lg A_2 = 14,2 \pm 0,2.$$

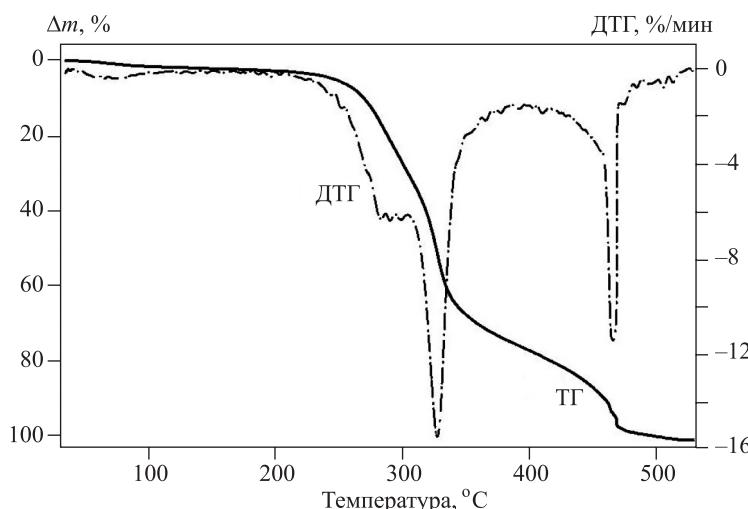


Рис. 1. Сравнение процессов окислительной термодеструкции древесины березы в протоке смеси аргона и кислорода (40+10 см³/мин); скорость нагрева 10 град/мин, корундовый стандартный тигель

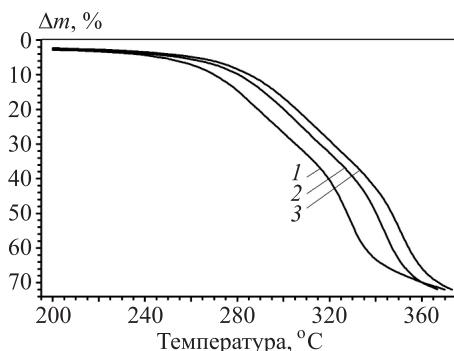


Рис. 3. Кривые потери массы при термодеструкции древесины березы
Скорости нагрева, град/мин: 1 – 10; 2 – 20;
3 – 30

Величина корреляционного коэффициента 0,999439.

На рис. 4 показано совпадение экспериментальных и расчетных данных. Расчет проведен для двухстадийной реакции ($A \rightarrow B \rightarrow C$).

Методика расчета позволяет оценить вклад каждого процесса: первая стадия 35,8 % и вторая стадия 64,2 %.

Таким образом, изучено поведение при термическом анализе древесины березы, рассчитаны кинетические параметры и оценен вклад разных стадий в процесс термодеструкции.

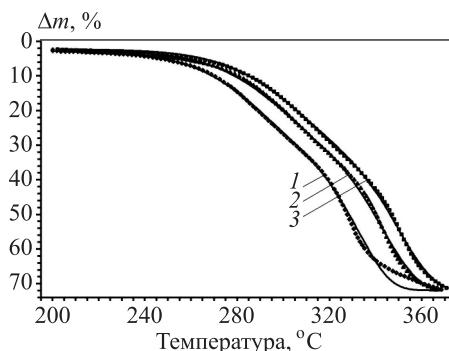


Рис. 4. Сравнение экспериментальных данных (точки) и расчетных данных (линии) потерь массы при термодеструкции древесины березы
Скорость нагрева, град/мин: 1 – 10; 2 – 20;
3 – 30

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Азаров В.Н., Буров А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров. СПб.: СПбЛТА, 1999. 628 с.
2. Mouchkina E. Determination of kinetic mechanisms for reactions measured with thermoanalytical instruments // J. Therm. Anal. Calorim. 2012, No. 109. P. 1203–1214.

Кошелева Ольга Эдуардовна, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет путей сообщения, г. Новосибирск

Логвиненко Владимир Александрович, д-р хим. наук, проф.

Институт неорганической химии СО РАН, г. Новосибирск

Получено 18.01.16

Kosheleva Ol'ga Eduardovna, DSc, Professor

Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

Logvinenko Vladimir Aleksandrovich, DSc, Professor

Institute of Inorganic Chemistry WITH RAN, Novosibirsk, Russia

THERMAL ANALYSIS OF THE WOOD

Part I

In the article the behavior of the wood of birch and pine tree with the heating is analyzed, the processes of pyrolysis and combustion are examined. The data of kinetic analysis, model of thermal processes are cited.

Keywords: biotoplivо, the wood of birch, thermal analysis, kinetics, pyrolysis, combustion.

REFERENCES

1. Azarov V.N., Buров A.V., Oboleskaya A.V. Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov [Wood chemistry and synthetic polymers]. St.-Petersburg, SPbLTA, 1999. 628 p. (in Russia)
 2. Moukhina E. Determination of kinetic mechanisms for reactions measured with thermoanalytical instruments. J. Therm. Anal. Calorim. 2012, No. 109. Pp. 1203–1214.
-

УДК 621.926.001

И.А. СЕМИКОПЕНКО, В.П. ВОРОНОВ, Д.А. БЕЛЯЕВ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАВНОВЕСНОЙ ТРАЕКТОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦЫ МАТЕРИАЛА В ПЕРИФЕРИЙНОЙ ОБЛАСТИ РАЗДЕЛЕНИЯ КАМЕРЫ ПОМОЛА ДЕЗИНТЕГРАТОРА

В настоящее время совмещение классификации и измельчения материалов в мельницах ударно-центробежного действия является одной из актуальных задач. В данной статье получено аналитическое выражение, позволяющее определить радиус равновесной траектории частицы материала после ее схода с последнего ряда ударных элементов камеры помола дезинтегратора. Представлена расчетная схема для определения радиуса равновесной траектории движения частицы. Построены графические зависимости радиуса равновесной траектории от угла ϕ области разделения частиц при различной частоте вращения роторов и разных размерах частиц. В результате имеется возможность создания разгрузочного узла дезинтегратора, обеспечивающего эффективную классификацию материала перед его выходом в готовый продукт.

Ключевые слова: дезинтегратор, камера помола, частица, равновесная траектория, ротор.

Дезинтеграторы являются одними из наиболее эффективных мельниц при измельчении материалов твердостью по шкале Мооса до 7 ед. [1]. Рассмотрим движение частиц материала после их схода с последнего ряда ударных элементов камеры помола дезинтегратора (рис. 1). Пренебрегая

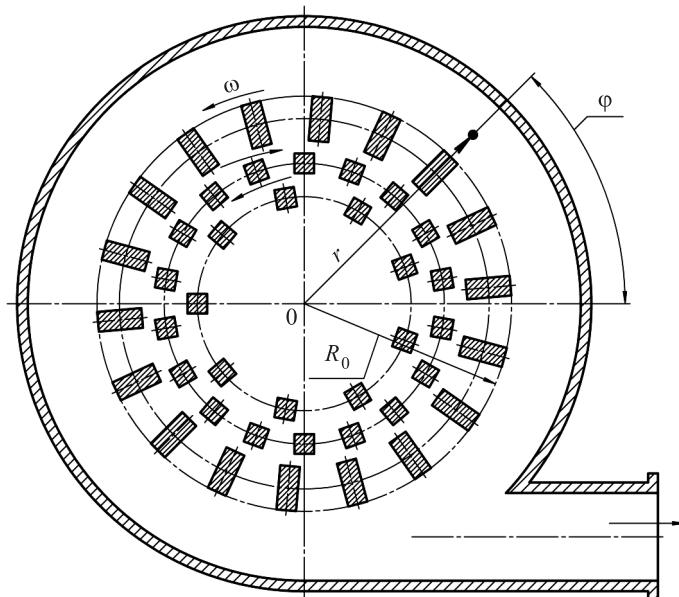


Рис. 1. Схема для определения радиуса равновесной траектории движения частицы материала на выходе с последнего ряда ударных элементов

весом частиц материала в данной области, рассмотрим в рамках плоской модели движение твердых сферических частиц с диаметром d , плотностью ρ во вращающемся воздушном потоке с динамической вязкостью μ .

Для математического описания движения частицы материала введем полярную систему координат r, φ .

Обозначим через ϑ_r и ϑ_φ соответственно радиальную и тангенциальную составляющие скорости движения частицы материала. Согласно результату работы [2], при движении частицы материала в пределах плоскости интегралом движения является z – проекция момента импульса M_z :

$$M_z = \vartheta_\varphi r = \text{const.} \quad (1)$$

На основании соотношения (1) можно записать:

$$\vartheta_\varphi r = \vartheta_\varphi^{(0)} R_0, \quad (2)$$

где R_0 – наружный радиус последнего ряда ударных элементов; $\vartheta_\varphi^{(0)}$ – тангенциальная составляющая скорости частицы материала в момент схода с ударного элемента, равная:

$$\vartheta_\varphi^{(0)} = \omega R_0. \quad (3)$$

Исходя из выражения (2), находим:

$$\vartheta_\varphi = \frac{\vartheta_\varphi^{(0)} R_0}{r} = \frac{\omega R_0^2}{r}. \quad (4)$$

Здесь ω – частота вращения ударных элементов.

После попадания частицы материала в область разделения на каждую выделенную частицу будут оказывать влияние следующие силы [3, 4]: центробежная, величина которой равна:

$$F_{\text{ц}} = \frac{m \vartheta_\varphi^2}{r}, \quad (5)$$

и сила сопротивления воздушной среды:

$$F_c = 3\pi\mu d \vartheta_r. \quad (6)$$

Здесь m – масса частицы материала, равная:

$$m = \frac{\pi d^3}{6} \rho, \quad (7)$$

где ρ – плотность частицы материала.

Для установившегося движения частицы материала должно выполняться следующее равенство [5]:

$$F_{\text{ц}} = F_c. \quad (8)$$

Подстановка (5) и (6) в (8) с учетом (7) приводит к следующему результату:

$$\vartheta_\varphi^2 = \frac{r}{\tau} \vartheta_r, \quad (9)$$

здесь введено следующее обозначение [6, 7]:

$$\tau = \frac{\rho d^2}{18\mu}. \quad (10)$$

Если учесть, что:

$$\vartheta_\phi = r \frac{d\phi}{dt}; \quad (11)$$

$$\vartheta_r = \frac{dr}{dt}, \quad (12)$$

с учетом (11), (12) уравнение (9) можно привести к виду:

$$\vartheta_\phi^2 = \frac{r}{\tau} \frac{dr}{dt} = \frac{r}{\tau} \frac{dr}{d\phi} \frac{d\phi}{dt} = \frac{1}{\tau} \frac{dr}{d\phi} \vartheta_\phi. \quad (13)$$

На основании (13) с учетом (4) получаем следующее дифференциальное уравнение:

$$\frac{\omega R_0^2}{r} = \frac{1}{\tau} \frac{dr}{d\phi}. \quad (14)$$

Интегрирование (14) приводит к следующему результату:

$$\frac{r^2}{2\tau} = \omega R_0^2 \phi + C_1. \quad (15)$$

Постоянную интегрирования C_1 в (15) можно найти, исходя из начального условия:

$$\text{при } \phi = 0, \quad r = R_0. \quad (16)$$

Применив (16) к (15), находим, что

$$C_1 = \frac{R_0^2}{2\tau}. \quad (17)$$

Подстановка (17) в (15) с учетом (10) позволяет получить следующий результат:

$$r = R_0 \sqrt{1 + \frac{2\rho d^2}{18\mu} \omega \phi}. \quad (18)$$

Таким образом, выражение (18) связывает размер частицы материала с радиусом ее равновесной траектории движения и позволяет определить параметры установки выходных патрубков для отвода крупной и мелкой фракций частиц материала. В соответствии с уравнением (18) можно построить графические зависимости радиуса равновесной траектории движения частицы материала от угла ϕ области разделения, отсчитываемого от положительного направления оси x (рис. 2, 3) при $\rho = 1600 \text{ кг}/\text{м}^3$; $\mu = 1,84 \cdot 10^{-5} \text{ Па} \cdot \text{с}$; $R_0 = 0,2 \text{ м}$.

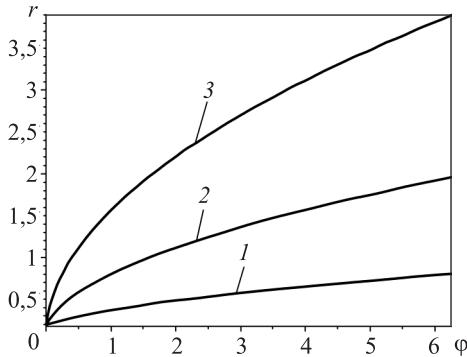


Рис. 2. Графическая зависимость радиуса равновесной траектории движения частицы от угла ϕ и размера частиц
1 – $d = 100$ мкм; 2 – $d = 250$ мкм; 3 – $d = 500$ мкм

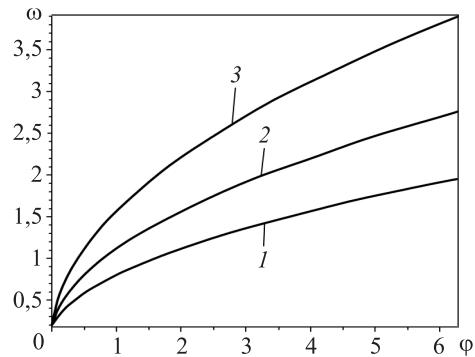


Рис. 3. Графическая зависимость радиуса равновесной траектории движения частицы от угла ϕ и угловых скоростей (частот)
1 – $\omega = 25 \text{ с}^{-1}$; 2 – $\omega = 50 \text{ с}^{-1}$; 3 – $\omega = 100 \text{ с}^{-1}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Хинт И.А. Основы производства силикальцитных изделий. М.; Л.: Стройиздат, 1962. 636 с.
- Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Теоретическая физика. Т. 1: Механика. М.: Физматлит, 2004. 224 с.
- Хьюитт Д., Холл-Тейлор Н. Кольцевые двухфазные потоки. М.: Энергия, 1974. 408 с.
- Уолис Г. Одномерные двухфазные течения. М., 1972. 440 с.
- Хинце И.О. Турбулентность. М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1968. 680 с.
- Semikopenko I.A., Vyalikh S.V., Zhukov A.A. The Unit of a Grinding and Material Classification on the Basis of a Mill of Desintegrating Type // Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. No. 18(11). P. 1608–1615.
- Semikopenko I.A., Vyalikh S.V., Zhukov A.A. Determining the design, technological and energy parameters of disintegrators with grinding chambers of various cross-section // Advances in Natural and Applied Sciences. 2014. No. 8(5). P. 529–539.

Семиковенко Игорь Александрович, канд. техн. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Воронов Виталий Павлович, канд. физ.-мат. наук, проф.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
Беляев Денис Александрович, студ.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 26.01.16

Semikopenko Igor' Aleksandrovich, PhD, Professor

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Voronov Vitaliy Pavlovich, PhD, Professor

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Belyaev Denis Aleksandrovich, Student

Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

DETERMINATION OF EQUILIBRIUM TRAJECTORY OF MOVEMENT OF THE MATERIAL PARTICLES IN THE PERIPHERAL AREA OF DISINTEGRATOR SEPARATION MILL CHAMBER

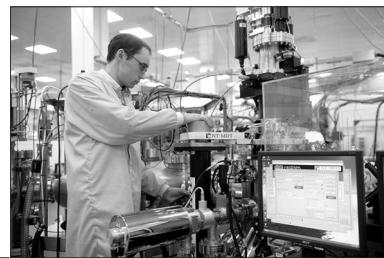
Currently, the combination of the classification and breaking of materials in impact centrifugal mills is the problem number one in present. In this article given, an analytical expression that allow to indicate the radius of the equilibrium particle trajectory of the material after its exit from the last row of impact elements of disintegrator mill chamber. The design scheme is presented for the determination of the equilibrium radius of the particle's trajectory. We construct a graph dependency of the equilibrium radius of the trajectory from the corner ϕ of the separation area of the particles with different rotor speed and a variety of particle sizes. As a result, it is possible to create a handling unit of disintegrator that provides effective material classification before to its release as the finished product.

K e y w o r d s: disintegrator, mill chamber, particle, equilibrium trajectory, rotor.

REFERENCES

1. Hint I.A. Osnovy proizvodstva silikal'tsitnykh izdeliy [Basics of silicalcite products]. Moscow-Leningrad, Stroyizdat, 1962. 636 p. (in Russia)
2. Landau L.D., Lifshitz E.M. Teoreticheskaya fizika. T. 1: Mekhanika [Theoretical physics. T. 1: Mehanika]. Moscow, Fizmatlit, 2004. 224 p. (in Russia)
3. Hewitt D., Holl-Taylor H. Kol'tsevye dvukhfaznye potoki [Ring two-phase flows]. Moscow, Energy, 1974. 408 p. (in Russia)
4. Uolis G. Odnomernye dvukhfaznye techeniya [Dimensional two-phase flow]. Moscow, 1972. 440 p. (in Russia)
5. Hinze I.O. Turbulentnost' [Turbulence]. Moscow, Publishing of physical and mathematical literature, 1968. 680 p. (in Russia)
6. Semikopenko I.A., Vyalikh S.V., Zhukov A.A. The Unit of a Grinding and Material Classification on the Basis of a Mill of Desintegrating Type. Middle-East Journal of Scientific Research. 2013. No. 18(11). Pp. 1608–1615.
7. Semikopenko I.A., Vyalikh S.V., Zhukov A.A. Determining the design, technological and energy parameters of disintegrators with grinding chambers of various cross-section. Advances in Natural and Applied Sciences. 2014. No. 8(5). Pp. 529–539.

В ЛАБОРАТОРИЯХ ВУЗОВ



УДК 692.115

С.А. САЗОНОВА, А.Б. ПОНОМАРЕВ

О НЕКОТОРЫХ РЕЗУЛЬТАТАХ ИССЛЕДОВАНИЙ НАСЫПНЫХ ГРУНТОВ

Исследование в области проектирования и строительства на насыпных грунтах является актуальным и имеет несколько направлений. По мнению авторов, во избежание ошибок на стадии проектирования, нужна правильная оценка возможных технологий с учетом накопленного опыта. Существует необходимость определения взаимосвязи контролируемых параметров на строительной площадке с характеристиками, используемыми при проектировании, что позволит быстро и эффективно определить качество произведенных работ, а также прогнозировать осадку грунтовых насыпей, обратной засыпки в короткие сроки. Для получения зависимости модуля деформации от коэффициента уплотнения проведена серия экспериментов, включающая в себя три этапа, результаты исследования приведены в настоящей статье.

Ключевые слова: насыпной грунт, прочностные и деформационные свойства, оптимальный состав, технологии уплотнения, коэффициент уплотнения, динамический плотномер грунта.

К насыпным грунтам относят грунты природного происхождения с нарушенной естественной структурой; минеральные отходы промышленных производств; твердые бытовые отходы, образовавшиеся отсыпкой их сухим способом или гидронамывом [1]. Насыпные грунты обладают рядом специфических особенностей, отличающих их от грунтов естественного сложения. Такими особенностями, определяющими сложность проблемы строительства на насыпных грунтах, являются: изменчивость состава сложения, переменная плотность, часто повышенная и неравномерная сжимаемость, неустойчивость структуры и др., а также переменные физико-механические характеристики различных видов насыпных грунтов, толщина их слоя и т.п. Они могут изменяться в широких пределах в зависимости от состава и вида насыпных грунтов, их залегания и сложения. Исследованиям насыпных грунтов, вопросам проектирования и строительства на них посвящены работы Ю.М. Абелева, В.И. Крутова, Ю.К. Зарецкого, В.И. Дидуха, П.А. Коновалова, Н.Т. Танатарова и многих других ученых.

В настоящей статье рассматривается насыпной грунт, классифицируемый [2] по способу укладки как отсыпанный автомобильным или железнодорожным транспортом, скреперами, бульдозерами и т.п. По однородности

состава и сложения – планомерно возведенные насыпи (обратные засыпки) и подсыпки (подушки) характеризуются практически однородным составом, сложением и равномерной сжимаемостью; по виду исходного материала, составляющего основную часть насыпи, – песчаные грунты.

Исследования в области проектирования и строительства на насыпных грунтах актуальны и имеют несколько направлений. Одним из основных направлений является изучение грунтов насыпей и подбор их оптимального состава. Н.Т. Танатаров определял уплотняемость, деформационные и прочностные характеристики неоднородных насыпных грунтов разных составов: однородные пески средней крупности, пылеватые суглинки и три вида смеси.

Определению оптимального гранулометрического состава песчано-гравийных смесей для песчаных подушек и насыпей посвящены работы А.Ю. Мирного. Он исследовал промытый кварцевый песок с различной крупностью частиц и их смесей. Для заданных смесей определялась максимальная плотность, средний компрессионный модуль и угол внутреннего трения. Было экспериментально доказано, что гранулометрический состав существенно влияет на свойства песчано-гравийной смеси для устройства земляных сооружений, особенно на модуль деформации и максимальную плотность [3]. В работе С.В. Рожкова и И.А. Соловьева производилась оценка степени влияния коэффициента уплотнения на прочностные и деформационные характеристики грунтов [4].

Важным направлением в исследовании насыпных грунтов является изучение технологий уплотнения [5]. В практике различают поверхностные методы уплотнения грунтов и глубинные. К поверхностным методам относят уплотнение укаткой, тяжелыми трамбовками, трамбующими машинами, виброкатками и т.д.; к глубинным методам – уплотнение грунтовыми и песчаными сваями, глубинными взрывами, статическими нагрузками от собственного веса и др. Так, в работе [6] установлена эффективность уплотнения гладким вибрационным катком по глубине. Степень уплотнения определена методом статического зондирования, по результатам испытаний построены графики зависимостей пористости и плотности от количества проходок.

Зачастую при строительстве в сложных геологических условиях устройство песчаной подушки является экономически выгодным вариантом. Так, в работе [7] на основе вариантурного рассмотрения нескольких технологий устройства оснований и фундаментов на слабых грунтах было принято решение о замене слоев на песчаную подушку из крупного и среднего песка.

Несмотря на большой накопленный опыт по строительству на насыпных грунтах и возведению насыпей [8], нередки ошибки либо на стадии проектирования, либо на стадии производства работ. На стадии проектирования чаще всего они связаны с недооценкой свойств техногенного грунта или неправильно выбранной технологией уплотнения. К ошибкам на стадии производства работ можно отнести отступление от проекта и отсутствие должного контроля качества работ.

При производстве работ по созданию планировочных насыпей особое внимание должно уделяться:

– качеству отсыпаемого грунта (отсутствию органических веществ и мерзлых комьев, требуемой влажности и т.д.);

- толщине отсыпаемых слоев, зависящих от выбранной технологии уплотнения;
- равномерному уплотнению по всей площади отсыпаемого слоя;
- контролю качества уплотнения каждого слоя грунтов и при необходимости после возведения насыпи в целом по всей ее толщине.

Контроль качества работ – важный и обязательный процесс при строительстве, но зачастую ему не уделяют должного внимания. В первую очередь это связано с недобросовестными подрядными организациями. Следует отметить, что затраты на дополнительные исследования насыпных грунтов могут в несколько раз превысить стоимость затрат при правильно организованном операционном контроле качества, не говоря уже о возможной угрозе причинения вреда здоровью и жизни людей. Операционный контроль качества рекомендуется проводить прямыми методами определения плотности грунта, а также «по отказу» при уплотнении насыпей тяжелыми трамбовками. В последнее время набирают популярность экспресс-методы с использованием различных плотномеров [9].

Основным контролируемым параметром при возведении насыпей является коэффициент уплотнения, требуемое значение которого можно определить в зависимости от нагрузки на поверхность, типа грунта и толщины отсыпки по табл. М.2 СП 45.13330.2012 «Земляные сооружения, основания и фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 3.02.01–87» [10]. В свою очередь коэффициент уплотнения – это отношение достигнутой плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта, полученной в приборе стандартного уплотнения по ГОСТ 22733–2002 «Грунты. Метод лабораторного определения максимальной плотности». Данная методика определения коэффициента уплотнения наиболее точная, но весьма трудоемкая и ограничена в области применения.

Контроль качества насыпей также производят методом статического зондирования, что позволяет проверить характеристики подушки на всю глубину. По мере необходимости качество уложенного грунта может контролироваться статическими нагрузками – штамповыми испытаниями.

По мнению авторов, во избежание ошибок на стадии проектирования, необходима правильная оценка возможных технологий с учетом накопленного опыта. Правильно выбранная технология на основе технико-экономического сравнения вариантов может привести к значительным уменьшениям денежных затрат. На стадии возведения насыпей большое значение имеет контроль качества, начиная с входного контроля грунта в соответствии с проектом. Более того, важен именно оперативный контроль и тесная взаимосвязь между проектировщиками и производителями работ. Оперативный контроль качества возведения насыпей позволяет улучшить качество выполняемых работ и, при необходимости, дает возможность внесения необходимых изменений в проект. Для тесной работы двух сторон важна не только скорость поступления информации, главную роль играет выбранная терминология, т.е. пользование одними и теми же характеристиками грунтов.

Основной контролируемый параметр при возведении насыпей – это коэффициент уплотнения, однако для проектирования оснований важны деформационные характеристики и в первую очередь модуль деформации.

Подводя итоги изложенному, можно сделать вывод о необходимости определения взаимосвязи контролируемых параметров на строительной площадке с характеристиками, используемыми при проектировании оснований, что позволит быстро и эффективно определять качество произведенных работ, а также прогнозировать осадку грунтовых насыпей, обратной засыпки и т.д. [11].

Для получения зависимости модуля деформации от коэффициента уплотнения авторами проведена серия экспериментов, включающая в себя три этапа:

1-й этап – отбор образцов методом режущего кольца для определения плотности по ГОСТ 5180–84 и определение максимальной плотности и оптимальной влажности по ГОСТ 22733–2002;

2-й этап – параллельно с определением коэффициента уплотнения оценка плотности грунтового массива экспресс-методом при помощи динамического плотномера ДПГ-1.2;

3-й этап – отбор проб и компрессионные испытания с последующим определением компрессионного модуля деформации по ГОСТ 12248–2010 «Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости».

Объектом исследования являлись насыпные грунты песчаных подушек под фундаментные плиты и обратных засыпок пазух фундаментов на одном из объектов г. Перми. Гранулометрический состав грунта определялся ситовым методом по ГОСТ 12536–79 «Методы лабораторного определения гранулометрического (зернового) и микроагрегатного состава» и согласно ГОСТ 25100–2011 грунт являлся песком гравелистым со средним содержанием гравия 30 %.

Определение максимальной плотности проводилось по ГОСТ 22733–2002 при помощи прибора стандартного уплотнения ГТ 1.4.1. По результатам испытаний была установлена максимальная плотность сухого грунта $\rho_d \max$, среднее значение которой составило 1,9 г/см³ с разбросом значений до 8 % в обе стороны для различных площадок. Среднее значение оптимальной влажности $\omega_{opt} = 9,2\%$ с разбросом значений до 10 % в обе стороны для различных площадок. Определен коэффициент уплотнения K_{com} как отношение достигнутой плотности сухого грунта к максимальной плотности сухого грунта. Значение коэффициента уплотнения во всех испытаниях больше 0,92, что соответствует нормативному значению для данного типа насыпи.

На 2-м этапе исследования проведена оценка плотности грунтового массива экспресс-методом при помощи динамического плотномера ДПГ-1.2. Измеритель динамический модуля упругости грунтов ДПГ-1.2 согласно руководству по эксплуатации предназначен для определения динамического модуля упругости E_d грунта и оснований дорог методом штампа, имитирующем проезд автомобиля по дорожному покрытию согласно основным положениям документа СТ СЭВ 5497–86.

Принцип работы прибора заключается в измерении осадки S грунта под круглым штампом (платформой, плитой) при воздействии на него ударной нагрузки (силы) F . Во время удара электронный блок прибора

автоматически записывает сигналы с датчиков силы и перемещения платформы. Микропроцессор производит двойное интегрирование сигнала ускорения и вычисляет осадку грунта. Динамический модуль упругости E_d , характеризующий деформативность грунта, вычисляется по формуле:

$$E_d = \frac{\pi D \sigma}{4S} (1 - \mu^2), \quad (1)$$

где S – амплитуда полной осадки (перемещения) грунта под штампом, мм; D – диаметр штампа, мм;

μ – коэффициент Пуассона, для песков и супесей равен 0,3 согласно ГОСТ 20276–85;

σ – контактное напряжение под штампом, вычисляемое по формуле, МПа:

$$\sigma = \frac{4F}{\pi D^2}, \quad (2)$$

где F – ударная сила (нагрузка), Н.

Величина ударного усилия и длительность его воздействия определяются массой свободно падающего груза и жесткостью пружинного демпфера.

В ранее проведенных исследованиях авторов замечено сильное влияние влажности на показания прибора ДПГ-1.2. При влажности более 12 % значения динамического модуля упругости E_d занижены (около 10 МПа) при относительно большой плотности грунта ($K_{com} = 0,95$). Это можно объяснить тем, что скорости упругих волн V_p значительно возрастают при увеличении влажности, и, как следствие, упругий динамический модуль понижается [12].

На 3-м этапе исследований определен компрессионный модуль деформации по ГОСТ 12248–2010 согласно п. 5.4. Первая ступень давления принималась в зависимости от коэффициента пористости e по табл. 5.8 и равна 0,025 МПа. Последующие ступени давления p принимались равными удвоенным значениям предыдущей ступени (0,025; 0,05; 0,1; 0,2; 0,3 МПа), итого пять ступеней.

Обработка результатов компрессионных испытаний производилась согласно п. 5.4.6 ГОСТ 12248–2010. Ранее была определена плотность частиц грунта и среднее значение ее составило $\rho_s = 2,65 \text{ г}/\text{см}^3$. Коэффициент β принят равным 0,8, как для песков. Компрессионный модуль вычислялся в диапазоне давлений 0,1–0,2 МПа, что обусловлено эксплуатационными нагрузками на данный насыпной грунт.

По результатам испытаний построены графики зависимостей динамического модуля упругости E_d и компрессионного модуля деформации E_k от коэффициента уплотнения K_{com} (рисунок).

Анализируя графики, можно сделать вывод о недостаточной сходимости результатов (величина достоверности аппроксимации R^2 около 0,2). Что касается зависимости E_d от K_{com} , то разброс значений, по мнению авторов, можно объяснить сильной зависимостью регистрируемых данных ДПГ-1.2 от условий проведения эксперимента и влажности грунта. Для нахождения искомой зависимости планируются дополнительные эксперименты в лабораторных условиях с постоянным контролем влажности и температуры. Для определения зависимости E_k от K_{com} также плани-

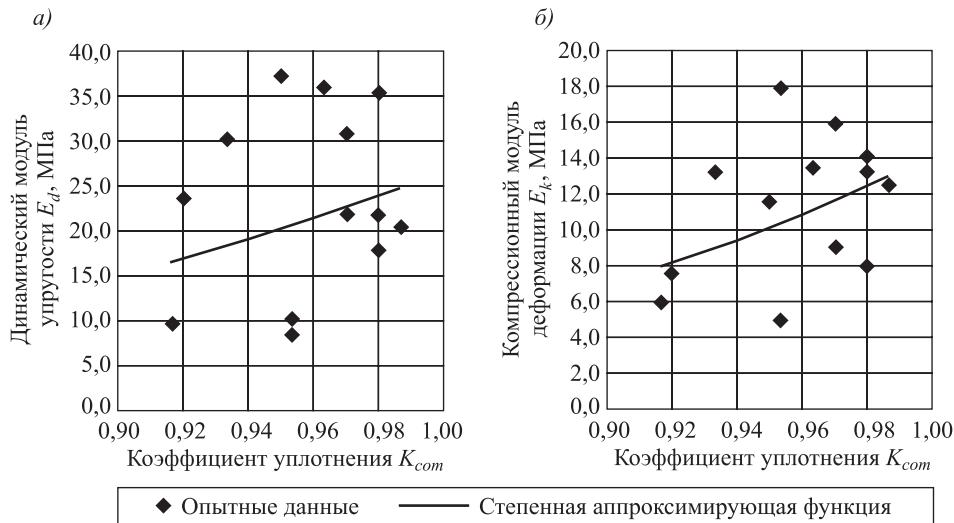


График зависимости динамического модуля упругости (а) и компрессионного модуля деформации (б) от коэффициента уплотнения

руются дополнительные исследования с учетом содержания крупных гравелистых частиц с размерами более 2 мм с различным процентным содержанием в смеси с параллельным определением прочностных характеристик.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Крутов В.И. Основания и фундаменты на насыпных грунтах. М.: Стройиздат, 1988. 224 с.
- Сазонова С.А., Пономарев А.Б. О необходимости комплексного изучения свойств техногенных грунтов и использования их в качестве оснований зданий // Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. Пермь: Изд-во ПНИПУ, 2013. № 2. С. 98–106.
- Тер-Мартirosyan З.Г., Мирный А.Ю. Влияние неоднородности на механические свойства грунтов // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2013. № 6. С. 27–32.
- Рожков С.В., Соловьева И.А. Исследование характеристик насыпных грунтов в основании сооружений // Жилищное строительство. 2006. № 10. С. 9–12.
- Некрылов В.Б. Исследование эффективных технологий устройства оснований и фундаментов сооружений на насыпных грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2010. № 9. С. 44–46.
- Абелев М.Ю., Аверин И.В., Тенгиз А.В. Эффективность уплотнения насыпных песчаных грунтов гладким вибрационным катком // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 6. С. 59–63.
- Абелев М.Ю., Бахронов Р.Р., Джангидзе З.У. Об эффективности устройства уплотненной песчаной подушки в основаниях многоэтажных зданий и сооружений, расположенных на слабых грунтах // Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 55–58.
- Крутов В.И., Когай В.К. Устройство планировочных насыпей при подготовке территорий под застройку // Механизация строительства. 2008. № 8. С. 21–24.
- Sulewska M.J. The application of the modern method of embankment compaction control // Journal of civil engineering and management. 2004. Vol. 10, suppl. 1. P. 45–50.

10. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. К вопросу определения деформационных свойств техногенных оснований экспресс-методами // Вестн. ПНИПУ. Прикладная экология. Урбанистика. 2014. № 1(13). С. 89–97.
11. Сазонова С.А., Пономарев А.Б. Планирование эксперимента по исследованию зависимости между коэффициентом уплотнения и модулем деформации // Вестн. ПНИПУ. Строительство и архитектура. 2015. № 3. С. 67–80.
12. Пономарев А.Б., Шутова О.А. Исследование вибрационного воздействия автотранспорта на фундаменты зданий в условиях плотной городской застройки // Интернет-вестник ВолГАСУ. Сер.: Политематическая. 2013. Вып. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2(27).pdf) (дата обращения 03.11.15).

Сазонова Светлана Александровна, асп.; E-mail: feliks150@yandex.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Пономарев Андрей Будимирович, д-р техн. наук, проф., советник РААЧ, E-mail: spstf@pstu.ac.ru
Пермский национальный исследовательский политехнический университет

Получено после доработки 15.01.16

Sazonova Svetlana Aleksandrovna, Post-graduate Student
Perm National Research Polytechnic University, Russia

Ponomarev Andrey Budimirovich, DSc, Professor
Perm National Research Polytechnic University, Russia

SOME RESEARCH RESULTS OF FILL SOILS

Research in the field of design and construction in the fill soil is currently topical and has a few areas. According to the author to avoid mistakes in the design phase, you need the correct assessment of the possible technologies with great experience. There is a need to define the interconnection of monitored parameters on a construction site with characteristics that are used in the design that allows you to quickly and effectively monitor the quality of work performed, as well as to predict the settlement mounds of soil, backfill in a short time. For according to the deformation modulus of the compaction factor author of a series of experiments, which includes three phases, the results presented in this article.

К e y w o r d s: fill soil, strength and deformation properties, the optimal composition, compression technology, compression ratio, dynamic soil density meter.

REFERENCES

1. Krutov V.I. Osnovaniya i fundamenty na nasypnykh gruntakh [The base and foundation on fill soil]. Moscow, Stroyizdat, 1988. 224 p. (in Russia)
2. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. O neobkhodimosti kompleksnogo izucheniya svoystv tekhnogennykh gruntov i ispol'zovaniya ikh v kachestve osnovaniy zdaniy [On the necessity of a comprehensive study of the technogenic soil properties and using it as a base of the buildings]. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [PNRPU Construction and Architecture Bulletin]. Perm, 2013. No. 2. Pp. 98–106. (in Russia)
3. Ter-Martirosyan Z.G., Mirnyy A.Yu. Vliyanie neodnorodnosti na mekhanicheskie svoystva gruntov [Influence of inhomogeneities on the mechanical properties of soils]. Osnovaniya, fundamenti i mekhanika gruntov [Foundations, foundations and soil mechanics]. 2013. No. 6. Pp. 27–32. (in Russia)

4. Rozhkov S.V., Solov'eva I.A. Issledovanie kharakteristik nasypnykh gruntov v osnovanii sooruzheniy [Investigation of the characteristics of fill soil at the base of construction]. Zhilishchnoe stroitel'stvo [House construction]. 2006. No. 10. Pp. 9–12. (in Russia)
 5. Nekrylov V.B. Issledovanie effektivnykh tekhnologiy ustroystva osnovaniy i fundamentov sooruzheniy na nasypnykh gruntakh [Investigation efficient technology devices bases of constructions and bases on fill soils]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. 2010. No. 9. Pp. 44–46. (in Russia)
 6. A belev M.Yu., Averin I.V., Tengiz A.V. Effektivnost' uplotneniya nasypnykh peschanykh gruntov gladkim vibratsionnym katkom [The effectiveness of the compression of fill sandy soils by smooth vibrating rollers]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. 2012. No. 6. Pp. 59–63. (in Russia)
 7. A belev M.Yu., Bakhranov R.R., Dzhangidze Z.U. Ob effektivnosti ustroystva uplotnennoy peschanoy podushki v osnovaniyakh mnogoetazhnykh zdaniy i sooruzheniy, raspolozhennykh na slabikh gruntakh [The effectiveness of the device compacted sand cushion in the bases of multi-storey buildings, situated on soft soils]. Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo [Industrial and civil engineering]. 2014. No. 6. Pp. 55–58. (in Russia)
 8. Krutov V.I., Kogay V.K. Ustroystvo planirovочных nasypey pri podgotovke territoriy pod zastroyku [Device planning embankments in preparation areas for development]. Mekhanizatsiya stroitel'stva [Mechanization of construction]. 2008. No. 8. Pp. 21–24. (in Russia)
 9. Sulewska M.J. The application of the modern method of embankment compaction control. Journal of civil engineering and management. 2004. Vol. 10, suppl. 1. Pp. 45–50.
 10. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. K voprosu opredeleniya deformatsionnykh svoystv tekhnogennykh osnovaniy ekspress-metodami [On the question of determining the deformation properties of man-made reasons rapid methods]. Vestnik PNIPU. Prikladnaya ekologiya. Urbanistika [PNRPU Bulletin. Applied ecology. Urbanistics]. 2014. No. 1(13). Pp. 89–97. (in Russia)
 11. Sazonova S.A., Ponomarev A.B. Planirovanie eksperimenta po issledovaniyu zavisimosti mezhdu koefitsientom uplotneniya i modulem deformatsii [Experimental design to investigate the dependence between the coefficient of compaction and the modulus of deformation]. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura [PNRPU Construction and Architecture Bulletin]. 2015. No. 3, Pp. 67–80. (in Russia)
 12. Ponomarev A.B., Shutova O.A. Issledovanie vibratsionnogo vozdeystviya avtotransporta na fundamenti zdaniy v usloviyakh plotnoy gorodskoy zastroyki [Study of vibration impact of vehicles on the foundations of buildings in dense urban areas]. Internet-vestnik VolgGASU. Ser.: Politematicheskaja. 2013. Vyp. 2(27). URL: [http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2\(27\).pdf](http://vestnik.vgasu.ru/attachments/PonomarevShutova-2013_2(27).pdf) (date of access: 03.11.15). (in Russia)
-

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

ВИДНЫЙ ИНЖЕНЕР-ГИДРОТЕХНИК, ОРГАНИЗАТОР И УЧЕНЫЙ (Аркадию Петровичу Яненко – 75 лет)

23 февраля 2016 г. исполнится 75 лет Аркадию Петровичу Яненко, доктору технических наук, профессору, заслуженному работнику высшей школы Российской Федерации. Его трудовая деятельность началась в 1958 г. после окончания школы, когда он по путевке комсомола пошел работать на стройку и получил квалификацию каменщика.

В 1963 г. после трех лет срочной службы в армии он поступил в Новосибирский инженерно-строительный институт, который окончил в 1967 г. по специальности «Строительство речных сооружений и гидроэлектростанций». По распределению он был оставлен на кафедре гидротехнических сооружений и гидравлики в должности ассистента.

Ассистент, аспирант, доцент, заместитель декана, декан, секретарь партийного комитета и, наконец, ректор, а затем президент университета – вот тот путь, который прошел А.П. Яненко в родном вузе. На должность ректора он был избран по итогам первых альтернативных выборов в 1988 г. и занимал этот пост до февраля 2007 г., неоднократно успешно переизбирайсь. В 2007–2011 гг. был президентом университета; в настоящий момент он является советником ректората НГАСУ (Сибстрин).

В период руководства вузом А.П. Яненко максимум усилий направил на то, чтобы вывести его в число лидеров строительного образования. Благодаря системной работе в вопросах социальной поддержки членов коллектива, вуз под его руководством с 1998 по 2007 гг. входил в десятку лучших вузов России по этому направлению. Много внимания А.П. Яненко уделял духовному воспитанию студентов и укреплению идей здорового образа жизни. В 2007 г. Сибстрин занял первое место среди всех вузов России по воспитательной работе. Итогом всей деятельности ректора А.П. Яненко по поднятию престижа строительного института стал перевод вуза в 1993 г. в статус академии, а в 1998 г. – университета.

Заслуги университета были признаны не только российским, но и мировым сообществом. В 2003 г. ряд специальностей вуза прошел аккредитацию Международного института инженеров-строителей (ICE, г. Лондон), тем самым было признано, что подготовка специалистов в НГАСУ (Сибстрин)



отвечает всем международным стандартам и требованиям. По данным организации «Деловая Россия», благодаря разработанным в Сибстрине мерам по повышению качества подготовки специалистов, он дважды входил в число 50 лучших вузов России по востребованности его выпускников.

Аркадий Петрович активно занимался и продолжает заниматься научными исследованиями. Круг научных интересов А.П. Яненко широк. В аспирантуре под научным руководством ныне академика РАН О.Ф. Васильева он получил прочную фундаментальную подготовку. Выполненная им кандидатская диссертация была успешно защищена в 1978 г. в Совете Ленинградского политехнического института. После защиты диссертации он развил новое крупное направление в вопросах расчета и увеличения грузоподъемной способности судоподъемных сооружений, которое стало основой защищенной им в 1996 г. докторской диссертации.

А.П. Яненко большое внимание уделяет общественной работе, активно занимался и продолжает заниматься в настоящее время политической деятельностью. В 1989 г., находясь в должности ректора института, он был избран народным депутатом СССР. В составе комитета Верховного Совета СССР по образованию он многое сделал для института, города и области. Среди пятнадцати народных депутатов СССР по Новосибирской области он имел самый высокий рейтинг и пользовался наибольшим уважением. Именно поэтому на 4-м съезде народных депутатов СССР ему было доверено руководство секретариатом этого съезда.

А.П. Яненко более 12 лет являлся вице-президентом Ассоциации строительных вузов СНГ, до сих пор возглавляет Совет по защите диссертаций в университете, до 2013 г. включительно он был членом экспертного Совета по строительству и архитектуре ВАКа России.

С 1998 г. А.П. Яненко заслуженный работник высшей школы РФ, в 2001 г. он удостоен звания «Почетный профессор Ассоциации строительных вузов СНГ», в 2002 г. ученый совет ТГАСУ присвоил ему звание «Почетный доктор Томского архитектурно-строительного университета», в 2003 г. – почетное звание «Лидер российской экономики»; в 2004 г. в храме Христа Спасителя решением общественного объединения Великобритании, Украины и России ему был вручен орден «Святая София» за существенный вклад в духовное воспитание подрастающего поколения. В 2008 г. он награжден золотой медалью Московского строительного университета за успехи по подготовке высококвалифицированных кадров инженеров-строителей, в 2012 г. занесен в международную биографическую энциклопедию успешных людей России «Who is Who в России».

А.П. Яненко – действительный член нескольких общественных академий России, в том числе Международной академии высшей школы. С 2002 г. он старший действительный член международного Института инженеров строителей (г. Лондон), с 1998 г. – международной Ассоциации по гидравлическим исследованиям и гидротехнике.

КОЛЛЕГИ, СОРАТНИКИ, ДРУЗЬЯ И УЧЕНИКИ ЖЕЛАЮТ АРКАДИЮ ПЕТРОВИЧУ КРЕПКОГО ЗДОРОВЬЯ И НОВЫХ УСПЕХОВ В НАУЧНОЙ РАБОТЕ. РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА ПРИСОЕДИНЯЕТСЯ К ПОЗДРАВЛЕНИЯМ И ПОЖЕЛАНИЯМ ЮБИЛЯРУ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ, ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И РЕДАКЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ РУКОПИСЕЙ СТАТЕЙ

1. Рукопись представляется в редакцию на *русском языке*. Зарубежные авторы могут присыпать 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. Вместе с рукописью представляются:

- *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 Сгт размером 14 пт с межстрочным интервалом 1,5, все поля — 20 мм. Обязательна нумерация страниц внизу посередине. 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/sample_of_article/a)

a) 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;
 - ф о р м у л ы 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 смещения сходных изображений прописных и строчных букв *V* и *v*, *S* и *s*, *O* и *o*, *K* и др., а также трудноразличимых букв и символов *l*, *e* и *1* (цифра), *n* и *p*, *I* и *J* и т.п. пояснения выполняются простым карандашом на полях;
 - и л л ю с т р а ц и и представляются в редакцию в виде файлов, созданных в Corel Draw или Microsoft Word, записанных с разрешением 300 дпі, 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 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4;
 - т а б л и ц ы печатаются каждая на отдельном листе, все наименования в них даются полностью, без сокращения слов;
 - б и б л и о г р а ф и ч е с к и й с п и с о к (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_bibliographies_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;
 - с в е д е н и я о б а в т о р а х: последовательно для каждого — фамилия, имя, отчество (полностью), учченая 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..., Cor. 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 наименовании 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 Russia).
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 присыпать в электронном виде.
6. Корректура 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 высыпаются.

НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ****«СТРОИТЕЛЬСТВО»**

Журнал имеет разделы

Строительные конструкции
Теория инженерных сооружений
Строительные материалы и изделия
Экономика и организация строительства
Автоматизация и технология строительного производства
Гидротехническое строительство
Санитарная техника

Строительство автомобильных дорог и мостов
Строительные и дорожные машины
Научные проблемы архитектуры и экологии
Научно-методический раздел
В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 1-е полугодие по каталогу «Роспечать» 2016 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3300 р.

цена отдельного номера — 550 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 2 (686) 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*