

СТРОИТЕЛЬСТВО АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И МОСТОВ

УДК 624.131.22.001.5 (571.1)

С.В. ЕФИМЕНКО, А.В. СУХОРУКОВ, В.Н. ЕФИМЕНКО

ОБОСНОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО РЕГИОНА*

Приведена методологическая схема обоснования расчетных значений характеристик грунтов для проектирования дорожных одежд по условию прочности. Схема представлена в виде двух блоков исследований. Первый блок включает операции, направленные на выделение однородных территорий (дорожных районов). Второй блок отражает работы по обоснованию расчетных значений характеристик глинистых грунтов земляного полотна для ранее выделенных дорожных районов. Показан экономический эффект от применения при проектировании дорожных одежд обоснованных нами значений характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов.

Ключевые слова: автомобильная дорога, земляное полотно, дорожно-климатическое районирование, расчетные характеристики глинистых грунтов, экономический эффект.

Одной из наиболее актуальных проблем, требующих незамедлительного решения в дорожной отрасли, является обеспечение требуемого уровня качества проектирования автомобильных дорог вновь осваиваемых регионов. Среди путей решения проблемы можно обозначить детальный учет природно-климатических условий при формировании норм проектирования автомобильных дорог. Так, расчетные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна для проектирования дорожных одежд, рекомендуемые отраслевыми дорожными нормами ОДН 218.046–01 «Проектирование нежестких дорожных одежд», получены в основном по результатам исследований, выполненных в XX в. на территории европейской части России, а для районов Зауралья дифференцированы по дорожно-климатическим зонам без достаточных проверок и обоснования. Поэтому, неслучайно, при проектировании дорожных одежд для конкретных объектов транспортного строительства ОДН 218.046–01 в ряде пунктов (п. 1.7, 2.37, 3.28) предлагает учитывать сведения регионального научно-практического опыта. Кроме того, действующее дорожно-климатическое районирование территории Российской Федерации требует уточнения из-за выявленных в последние годы критериальных несоответствий.

Решение задач, направленных на уточнение районирования отдельных территорий, например, для целей, связанных с обеспечением качества проектирования автомобильных дорог, исследователи реализуют, как правило, путем применения опыта покомпонентного наложения карто-

* Работа поддержана грантом Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 14-07-00673 А), отдельные элементы выполнены по плану НИР Федерального дорожного агентства (Росавтодор).

графических схем распространения геокомплексов зонального, азонального, интразонального и регионального характера. Опыт разработки принципов дорожного районирования [1–2] показывает, что рациональный учет комплекса территориальных природно-климатических условий может базироваться на использовании элемента «дорожный район» в таксономической системе «зона — подзона — район — участок», ранее показанной в работе В.М. Сиденко, О.Т. Батракова и М.И. Волкова¹.

Отметим, что таксон «участок» можно применять при проектировании и строительстве уникальных сооружений. В условиях массового дорожного строительства им можно пренебречь. Так, в Германии с 1986 г. выполняют директивы «RStO 01 Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaues von Verkehrsflächen», в которых для отдельных районов страны со специфическими природно-климатическими условиями предложены варианты типовых конструкций дорожных одежд. На территории США Межведомственным руководством дорожных исследований выделено 97 физико-географических районов по несущей способности грунтов и их изменению под влиянием увлажнения, а также по наличию дорожно-строительных материалов [2].

Анализируя дорожно-климатическое районирование территории Китая, можно сделать вывод, что в его основе лежат методологические приемы, ранее применявшиеся в республиках бывшего Советского Союза. Поэтому в пределах линии границы двух стран распространены одинаковые по комплексу географических признаков дорожно-климатические зоны. В зависимости от степени увлажнения, глубины промерзания грунтов и температурного режима территория КНР разделена на семь дорожно-климатических зон. В пределах каждой зоны с учетом рельефа местности, условий микроклимата выделяют 33 дорожных района.

Предлагаемая авторами статьи методология обоснования расчетных значений характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна содержит два блока исследований. Первый блок включает операции, связанные с выделением однородных территорий (дорожных районов). Реализация операций в этом блоке предполагает формирование информационной базы для моделирования показателей геокомплексов зонального, интразонального и регионального характеров; уточнение границ зон, подзон и дорожных районов с привлечением информационно-вычислительных технологий; корректировку положения границ районов, подзон и зон для смежно расположенных территорий административных образований. Содержание выше обозначенных операций подробно отражено в работе [2].

Результатом работ, выполненных в рамках первого блока, является карта-схема распространения линий границ дорожно-климатических зон территории Западной Сибири, включающая в себя 14 административных образований (Республики Алтай и Хакасия, Алтайский и Красноярский края, Кемеровская, Курганская, Новосибирская, Омская, Свердловская, Томская, Тюменская, Челябинская области, Ханты-Мансийский и Ямало-Ненецкий автономные округа). Территории зон разбиты на подзоны по типам рельефа и однородные по геокомплексам дорожные районы с де-

¹ Сиденко В.М., Батраков О.Т., Волков М.И. Автомобильные дороги (Совершенствование методов проектирования и строительства). Киев: Будивельник, 1973. 278 с.

тальной характеристикой основных геокомплексов. Всего для Западной Сибири рекомендовано четыре дорожно-климатические зоны (I, II, III и IV), три подзоны (Р — равнинная, Х — холмистая, Г — горная) и 112 дорожных районов [2].

Так, на территории Омской области выделено три дорожно-климатические зоны (II, III и IV), одна подзона (равнинная) и восемь дорожных районов (от 1 до 4 в зависимости от зоны и подзоны) (рис. 1).

Второй блок исследований отражает работы, направленные на обоснование расчетных значений глинистых грунтов земляного полотна, применяемых при конструировании и расчете дорожных одежд автомобильных дорог, расположенных в выделенных в первом блоке дорожных районах.

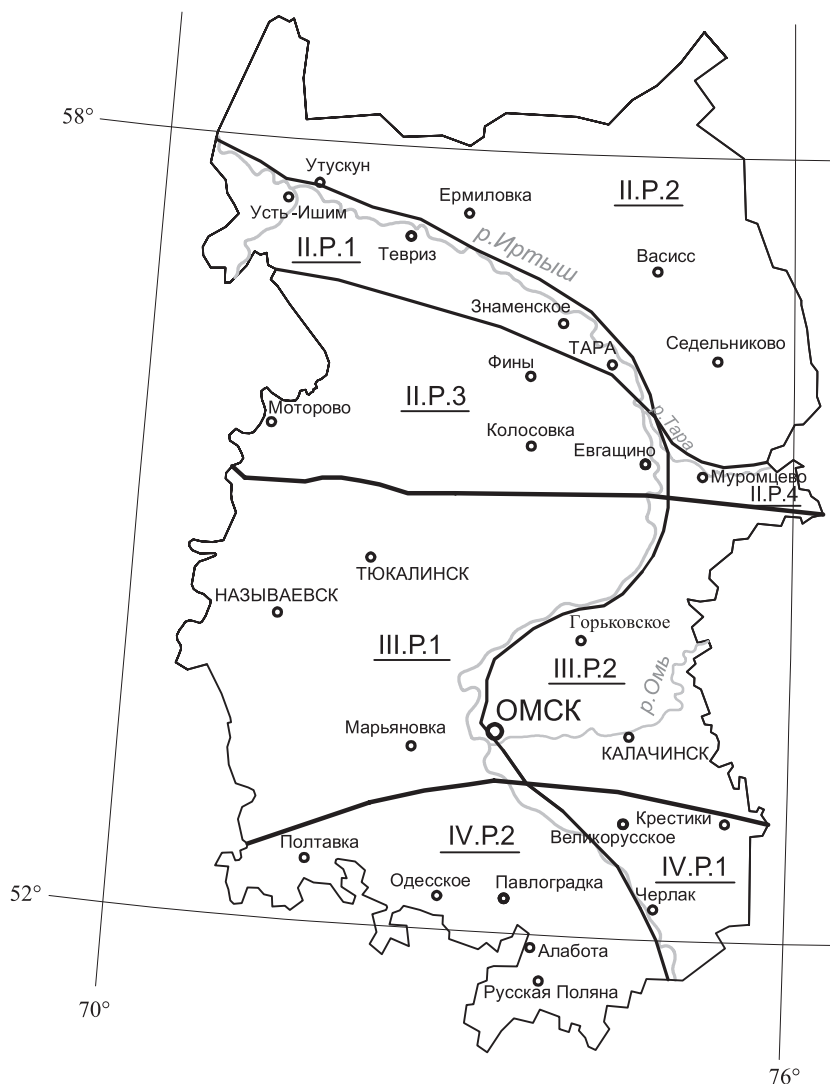


Рис. 1. Карта-схема дорожно-климатического районирования территории Омской области

II, III, IV — дорожно-климатические зоны по результатам исследований, выполненных в ТГАСУ; 1–4 — номера дорожных районов, выделенных на территории Омской области; Р — подзона по типу рельефа (равнинная)

К основным факторам, обуславливающим значения прочности и деформируемости грунтов, относят природно-климатические, грунтово-гидрологические условия и, как следствие, влажность грунта земляного полотна и материалов слоев дорожной одежды [2].

Натурные измерения влажности грунтов земляного полотна, при обосновании ее расчетных значений, могут быть выполнены как на действующей сети автомобильных дорог путем оборудования стационарных постов наблюдения, так и на специализированных полигонах. Большим опытом в этом вопросе обладают США, где с 1950–1960 гг. проводятся многолетние крупномасштабные исследования на опытных участках в разных регионах с различными природно-климатическими условиями. Учитывая тот факт, что на территории Российской Федерации сеть автомобильных дорог развита крайне неравномерно, выполнение натурных измерений влажности грунтов земляного полотна возможно далеко не для всех территорий. Кроме того, ограниченный временной промежуток, отведенный на выполнение инженерных изысканий, не всегда позволяет отобрать образцы грунтов в расчетный период года. Поэтому на вновь осваиваемых территориях назначение расчетной влажности грунтов земляного полотна осуществляют, в том числе, с использованием методов математического моделирования [2].

Для районов, характеризующихся глубоким сезонным промерзанием и избыточным увлажнением грунтов, наиболее приемлем метод проф. И.А. Золотаря², о чем свидетельствуют результаты исследований проф. В.Н. Ефименко³ в Западной Сибири. Методическая схема назначения расчетных характеристик грунтов земляного полотна включает несколько последовательно выполняемых этапов: определение продолжительности периодов осеннего влагонакопления ($\tau_{вл}$) и промерзания ($\tau_{пр}$); установление средней осенней влажности грунта земляного полотна $W^{ос}$ к концу периода осеннего влагонакопления; определение характеристики скорости промерзания (α) грунта рабочего слоя земляного полотна; назначение расчетной влажности грунта земляного полотна $W_{от}$ с учетом миграции влаги при промерзании грунта; установление расчетных значений модуля упругости, угла внутреннего трения и удельного сцепления глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна с учетом зависимостей, полученных по результатам полевых и лабораторных работ. Так как содержание первого–четвертого этапов достаточно подробно представлено нами в работах [3, 4], то подробно раскроем лишь содержание пятого этапа работы.

Комплекс полевых и лабораторных работ, выполненных авторами статьи на территории Западной Сибири, позволил установить состав и свойства глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна автомобильных дорог. На сети автомобильных дорог региона было оборудовано более 100 участков для визуального, инструментального наблюдения за изменением параметров водно-теплового режима грунтов земляного полотна в течение нескольких годовых циклов, что позволило учесть особенности водно-теплового режима в тех или иных природно-климатиче-

² Водно-тепловой режим земляного полотна и дорожных одежд / Под ред. И.А. Золотаря, Н.А. Пузакова, В.М. Сиденко. М.: Транспорт, 1971. 416 с.

³ Ефименко В.Н. Водно-тепловой режим земляного полотна автомобильных дорог при глубоком промерзании грунтов (На примере Юго-Востока Западной Сибири): дис. ... канд. техн. наук. М., 1978. 216 с.

ских условиях. В связи с тем, что количество отобранных образцов грунтов земляного полотна для лабораторных испытаний на территории исследования превысило 900, возникла необходимость статистической обработки результатов полевых и лабораторных испытаний влажностных, прочностных и деформационных свойств грунтов. Статистическая обработка включала в себя оценку совокупностей значений, полученных в процессе испытаний, на присутствие «выскакивающих» вариантов и проверку возможности объединения серий испытаний, выполненных для отдельных административных образований Западно-Сибирского региона, в один статистический ряд [4].

В результате обработки статистических рядов было установлено, что около 3 % экспериментально полученных значений результатов определения свойств влажности, прочности и деформируемости необходимо выбраковать, как не относящихся к генеральной совокупности.

Вследствие объединения статистических рядов результатов наблюдений, были установлены функциональные и графические зависимости $E_{гр}$, $\varphi_{гр}$ и $C_{гр} = f(W_{от})$ для наиболее распространенных на территории исследования глинистых грунтов. Эти зависимости лучше всего аппроксимируются экспоненциальной кривой. Пример такой зависимости, полученной для территории Омской области, отражен на рис. 2.

В частности, модуль упругости глинистого грунта (суглинок пылеватый) для территории Омской области может быть установлен с помощью функциональной зависимости:

$$E_{гр} = 85,91 e^{-2,637W_{от}}. \quad (1)$$

Здесь $E_{гр}$ — модуль упругости грунта, МПа;

$W_{от}$ — относительная влажность грунта рабочего слоя земляного полотна, д.ед.

Коэффициент корреляции между двумя исследуемыми параметрами в данном случае составил $r = 0,79$, что послужило основанием для приме-

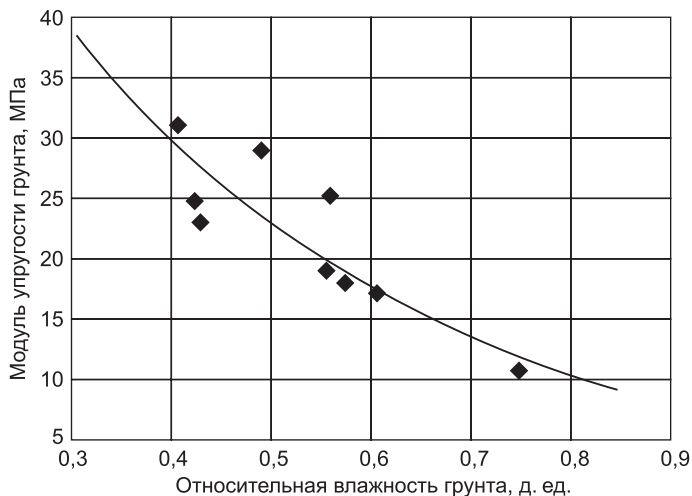


Рис. 2. График зависимости модуля упругости глинистого грунта (суглинок пылеватый) от его относительной влажности (по экспериментальным данным)

нения функциональной зависимости (1) при определении расчетных значений модуля упругости глинистых грунтов (суглинков пылеватый) рабочего слоя земляного полотна на территории Омской области.

Результаты исследования свойств глинистых грунтов, расположенных на территории Омской области, сопоставлены с рекомендациями ОДН 218.046–01 путем наложения зависимостей модуля упругости грунта рабочего слоя земляного полотна от относительной влажности друг на друга. Расхождение значений $E_{гр}$, полученных в результате эксперимента и приведенных в нормах ОДН 218.046–01, при различной влажности земляного полотна отражено на рис. 3.

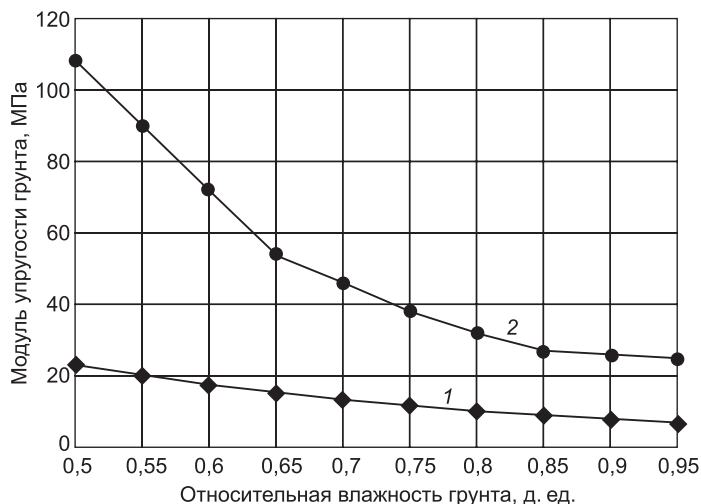


Рис. 3. Сопоставление результатов исследований с рекомендациями ОДН 218.046–01, выполненное на примере суглинка пылеватого

1 — экспериментальные данные; 2 — данные ОДН 218.046–01

Полученные графические и функциональные зависимости позволили рекомендовать в табличном виде расчетные значения характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна для 112 дорожных районов, выделенных на территории Западной Сибири. Так, в таблице отражены расчетные значения характеристик глинистых грунтов рабочего слоя земляного полотна для дорожного района Ш.Р.2, выделенного на территории Омской области.

Научная новизна предлагаемого подхода заключается в выделении однородных территорий (дорожных районов) в региональных административных образованиях по комплексу природных и климатических условий, учитывающих особенности протекания водно-теплового режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог и насыщения их информацией по значениям расчетных характеристик глинистых грунтов.

Установлены и систематизированы свойства геоккомплексов зонального, интразонального и регионального характера, определяющие протекание водно-теплового режима грунтов земляного полотна автомобильных дорог на территориях административных образований Западной Сибири, в виде исходной информации при территориальном выделении зон, подзон и дорожных районов.

Значения расчетных характеристик глинистого грунта (суглинок пылеватый) для дорожного района III.P.2, выделенного на территории Омской области

Коэффициент влаго-проводности K_1 , см ² /ч	Уровень грунтовых вод от верха земляного полотна H_B , м	Весенняя относительная влажность $W_{от}$, д. ед.	Модуль упругости $E_{гр}$, МПа	Угол внутреннего трения $\varphi_{гр}$, град	Удельное сцепление $C_{гр}$, МПа
1,0	0,5	0,674	14,5	17,76	0,058
	1,0	0,613	17,1	21,03	0,069
	1,5	0,553	20,0	24,83	0,083
	2,0	0,526	21,5	26,75	0,090
	2,5	0,516	22,0	27,50	0,093
1,5	0,5	0,691	13,9	16,94	0,055
	1,0	0,624	16,6	20,40	0,067
	1,5	0,651	15,4	18,93	0,062
	2,0	0,631	16,3	20,00	0,066
	2,5	0,521	21,7	27,12	0,092
2,0	0,5	0,705	13,4	16,30	0,053
	1,0	0,635	16,1	19,78	0,065
	1,5	0,568	19,2	23,82	0,080
	2,0	0,536	20,9	26,02	0,088
	2,5	0,525	21,5	26,83	0,090
2,5	0,5	0,718	12,9	15,72	0,051
	1,0	0,644	15,7	19,30	0,063
	1,5	0,574	18,9	23,42	0,078
	2,0	0,541	20,6	25,66	0,086
	2,5	0,53	21,2	26,46	0,089
3,0	0,5	0,73	12,5	15,21	0,049
	1,0	0,653	15,4	18,82	0,062
	1,5	0,579	18,7	23,10	0,077
	2,0	0,545	20,4	25,38	0,085
	2,5	0,533	21,1	26,24	0,088

Уточнено географическое положение линий границ дорожно-климатических зон в пределах территорий административных образований. Выделены дорожные районы, характеризующиеся однородными показателями геоскомплексов. Для территории Западной Сибири рекомендовано четыре дорожно-климатические зоны (I, II, III и IV), три подзоны (Р — равнинная, Х — холмистая, Г — горная) и 112 дорожных районов.

Предложена методологическая схема обоснования расчетных значений характеристик влажности, прочности и деформируемости глинистых грунтов земляного полотна для качественного проектирования автомобильных дорог во вновь осваиваемых районах России.

Для каждого дорожного района, выделенного на территории Западной Сибири, установлен и нормирован комплекс характеристик глинистых грунтов, необходимый для проектирования нежестких дорожных одежд автомобильных дорог по условию прочности.

Результаты экспериментальных исследований по определению характеристик прочности и деформируемости глинистых грунтов на территории исследования существенно отличаются от нормированных значений, нашедших отражение в ОДН 218.046–01. Так, фактические значения расчетной влажности глинистых грунтов земляного полотна, полученные по результатам наших исследований, выше нормированных на 7–10 % (в зависимости от типа местности по характеру и степени увлажнения) [4]. Нормированные значения модуля упругости ($E_{гр}$) глинистых грунтов земляного полотна по сравнению с результатами фактических наблюдений на примере территории Омской области завышены.

Экономический эффект от внедрения уточненных норм проектирования автомобильных дорог, подсчитанный по приведенным строительным и эксплуатационным затратам в базисном уровне цен 2000 г., составляет около 591 тыс. руб. на 1 км автомобильной дороги⁴.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ефименко, В.Н. К обоснованию территориального распространения границы II–III дорожно-климатических зон в Западно-Сибирском регионе [Текст] / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков, Т.А. Кожухарь // Вестн. Том. гос. архитектурно-строит. ун-та. — 2014. — № 5(46). — С. 133–142.
2. Ефименко, С.В. Дорожное районирование территории Западной Сибири: моногр. [Текст] / С.В. Ефименко, М.В. Бадина. — Томск : Изд-во Том. гос. архитектурно-строит. ун-та, 2014. — 244 с.
3. Ефименко, В.Н. Назначение расчетных значений характеристик грунтов земляного полотна для расчета дорожных одежд [Текст] / В.Н. Ефименко, С.В. Ефименко, А.В. Сухоруков // Вестн. Кузбас. гос. техн. ун-та. — 2015. — № 3. — С. 124–130.
4. Полищук, А.И. Расчетные значения характеристик глинистых грунтов для проектирования автомобильных дорог [Текст] / А.И. Полищук, С.В. Ефименко // Изв. вузов. Строительство. — 2005. — № 8. — С. 66–71.

ЕФИМЕНКО Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доц.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

СУХОРУКОВ Алексей Владимирович, асп.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

ЕФИМЕНКО Владимир Николаевич, д-р техн. наук, проф.

Томский государственный архитектурно-строительный университет

Получено 26.06.15

Efimenko Sergey Vladimirovich, candidate of technical sciences, assistant professor, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Sukhorukov Alexey Vladimirovich, post-graduate student, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

Efimenko Vladimir Nikolaevich, doctor of technical sciences, professor, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

JUSTIFICATION OF CALCULATED VALUES FOR PROPERTIES OF CLAY SOILS IN WEST SIBERIAN REGION

The present paper offers methodological scheme to validate calculated values of soil properties for the design of road pavement considering strength conditions. The scheme

⁴ Ефименко С.В. Обоснование расчетных значений характеристик глинистых грунтов для проектирования дорожных одежд автомобильных дорог (на примере Западной Сибири): автореф. дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2006. 23 с.

includes two-stage research. The first stage includes the steps to define homogeneous areas (road district). The second stage includes work to validate the calculated values of subgrade clay soils properties for the road district defined earlier. Economic effect of using the validated values of moisture content, strength and deformability of clay soils in design of road pavements is shown.

Key words: road, subgrade, road-climatic zoning, the calculated characteristics of clay soils, economic effect.

REFERENCES

1. Efimenko, V.N. On the justification of the territorial distribution of the border II–III road-climatic zones in West Siberian region [Text] / V.N. Efimenko, S.V. Efimenko, A.V. Sukhorukov, T.A. Kozhuhar' // Vestnik of TSUAB. — 2014. — N 5(46). — P. 133–142.
2. Efimenko, S.V. Road zoning of West Siberia territory: monograph [Text] / S.V. Efimenko, M.V. Badina. — Tomsk, 2014. — 244 p.
3. Efimenko, V.N. Assignment of calculated values properties of clay subgrade soils for design of road pavement [Text] / V.N. Efimenko, S.V. Efimenko, A.V. Sukhorukov // Vestnik of KuzSTU. — 2015. — N 3. — P. 124–130.
4. Polishchuk, A.I. Design values of clay soils characteristics to design motor roads [Text] / A.I. Polishchuk, S.V. Efimenko // News of Higher Educational Institutions. Construction. — 2005. — N 8. — P. 66–71.

НАУЧНЫЕ ПРОБЛЕМЫ АРХИТЕКТУРЫ И ЭКОЛОГИИ

УДК 711.4-112(571.1)

М.И. АКИМОВА

СИСТЕМА ЗАСТРОЙКИ ГЛАВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ГОРОДОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

На основе анализа архитектурно-планировочных систем городов Западной Сибири выявляются закономерности развития исторического ядра и главной площади, определяются система застройки и ее изменения в различные периоды.

Ключевые слова: городской центр, система застройки, главная площадь, планировочная система, архитектурно-пространственная композиция, периоды эволюции застройки главных площадей.

Главные площади городов Западной Сибири эволюционировали согласно историческим периодам градостроительного развития и отражали в своей архитектурно-пространственной композиции функциональную насыщенность зданиями, их рациональное размещение на территории, стилевую взаимосвязь и гармоническое единство застройки. В своеобразии планировочно-пространственных замыслов и художественного облика зданий застройки главных площадей прослеживаются отличительные черты русского, а также сибирского градостроительства.

Анализ эволюции исторических городов Сибири и их архитектурно-пространственной композиции позволяет сделать выводы о закономерностях развития исторического ядра и главной площади и ее изменениях в различные периоды.

Первый период архитектурно-градостроительного развития городов Западной Сибири (конец XVI — начало XVIII в.) характеризуется появлением крепостей и образованием на их территории первых площадей, служащих единственным местом общения, ограниченным крепостными стенами с внешней стороны и с внутренней — застройкой зданиями невысокой этажности.

В связи с тем, что крепостей-городов XVI–XVII вв. не сохранилось, их можно реконструировать, основываясь на рисунках-чертежах С.У. Ремезова, исторических описаниях и панорамах художников XVIII в., запечатлевших значимые сооружения в центральной части — ядре города.

Площади на территории крепостей представляли собой небольшое пространство, сформированное культовыми зданиями — часовнями и церквями; государственными — ясачной казной, канцелярией; торговыми — магазинами, торговыми лавками, общественными — постоялыми и меновыми дворами, складскими, жилыми, военными. Доминантой на этой площади, образующей пространственную композицию, являлся

храм, который согласно рисункам Ремезова размещался в центральной части крепости. Эти первые храмы, так же как и застройка их окружающая, были деревянными, хорошо сочетались колористически и пропорционально со всеми зданиями, так как имели единый модуль — габарит — дерево.

С ростом городов, появлением посадов и слобод, развитием торговых отношений возникают площади вне крепости: торговые у рек, храмовые возле построенных церквей на посадах, на территориях монастырей. Под стенами крепости в городах Сибири вблизи реки появлялась торговая площадь (Томск, Тюмень, Тобольск), сформированная рублеными общественными постройками: таможенной избой, кружечным двором, богадельней, приказами, торговыми рядами, гостиным двором и церковью.

В Тюмени (в конце XVI — начале XVII в.) существовали две площади: внутри крепости (общественный центр) и торговая площадь вне крепости. Площадь на территории крепости была образована такими постройками, как Рождественская и Никольская церкви, съезжая изба, десять торговых хлебных житниц, воеводский двор, жилые дома, караульные избы, тюрьма, винный погреб и амбары, создающими периметральную систему застройки.

Торговая площадь Тюмени, расположенная у стен крепости, формировалась следующими зданиями: холодный Спасский храм, таможенная изба, гостиный двор, винный погреб, кружечный двор и богадельня и образовывала смешанную систему застройки.

В Тобольске с его сложным природным ландшафтом площади были образованы в «Верхнем городе» — Тобольской крепости и в «Нижнем», где возникла Торговая площадь.

Площадь на территории Тобольской крепости была сформирована деревянными зданиями государственных приказов и канцелярий, воеводского двора, небольшой православной Троицкой церковью, казенным амбаром, пороховым погребом, сооружением для амуниции и другими постройками гражданской и военной администрации. Здесь же располагался базар и деревянный гостиный двор, дома стрелецкого, пехотного и казачьего приказов. Рядом находилась Воскресенская церковь.

В конце XVII в. на территории Софийского двора размещался архиерейский дом с домовою церковью и несколькими хозяйственными постройками. Между оградой двора и крепостной стеной располагались богадельня и жилые кварталы. Первоначально на Софийском дворе преимущественно были деревянные постройки, за исключением двухэтажного архиерейского каменного дома, построенного в 1674 г. В 1677 г. Софийский двор сгорел со всеми его постройками и оградами, и было принято решение о возобновлении Софийской соборной церкви в камне.

На главной площади в кремле располагался каменный гостиный двор, Тобольская приказная палата, выстроенные по проекту С. Ремезова во второй половине XVII в. и разместившиеся напротив гостиного двора мясные и рыбные ряды, торг дровами и сеном. В 1691–1694 гг. была возведена каменная Троицкая церковь на Базарной площади Верхнего посада взамен сгоревшей деревянной.

Рыночная площадь в Тобольске была образована между берегом Иртыша и Базарным взвозом с воеводским и дьячим дворами и тюрьмой,

здесь находились Красный кабак, пивоварня, харчевня, купеческие амбары. Ближе к берегу Иртыша располагались государственные амбары: соляные, хлебные, винные и склады различных припасов, а на самом берегу — пристань. В 1690–1691 гг. была построена Богоявленская церковь на Нижнем посаде, рядом с лестницей Базарного взвоза, около площади.

В результате частых пожаров материалов, характеризующих архитектурный облик Тобольска рубежа XVII–XVIII вв., не сохранилось.

Новый каменный, построенный Ремезовым, кремль представлял собой обширную административную площадь, сформированную крепостными стенами с башнями, церквями и различными общественными постройками: каменное здание Приказной палаты (позднее — Губернской канцелярии). От прежних строений на площади остались лишь каменный Троицкий храм и Челобитная (Спасская) башня деревянного кремля [1].

Анализ историко-графических материалов позволяет назвать систему застройки в Тобольске периметральной.

В Томске, городе на сложном рельефе, также возникли два типа площади: одна в кремле, вторая — торговая, внизу на берегу реки.

Первая городская площадь на территории Томской крепости была сформирована деревянными зданиями: съезжая изба, воеводские хоромы, погреба с военными припасами, хлебные и пушные амбары, Троицкая церковь, срубленная в 1606 г., и представляла собой, как и в Тобольске, периметральную систему застройки.

Торговая площадь Томска возникла на правом берегу Ушайки в месте впадения ее в Томь рядом с крепостью, согласно архивным данным там уже существовал гостиный двор с жилыми и торговыми помещениями. С утратой Томском в начале XVIII в. значения военно-стратегического пункта исчезают укрепления «острога», возрастает роль торговой функции. На Базарной площади под Воскресенской горой появляются ряды («мясной, рыбной, хлебной и калашной»), склады для товаров, большое количество домов купцов и ремесленников, административные здания. Система застройки площадей этого периода была в основном периметральной.

В городах-заводах роль общественного центра принадлежала предзаводским площадям, концентрировавшим наиболее значительные общественные, казенные и церковные здания. Внутри заводской крепости находились хозяйственные, жилые, складские и административные здания. На планах Барнаульского завода первой половины XVIII в. отсутствуют четко выявленные крепостные укрепления, в них ярче проступают черты города-завода, а не города-крепости [2]. Характер застройки диктовался технологией рабочего процесса.

Малые города, как и большие, в этот период характеризовались периметральной системой застройки. Так, внутри Кольванского острога размещались двор приказчика с принадлежащими ему строениями, судная изба, амбар для хранения боеприпасов, соляной амбар, пять амбаров с провиантом, караульная изба у крепостных ворот. В 1719 г. на территории острога были возведены Ильинская деревянная церковь и дворы священников. Все эти сооружения располагались по периметру острожных стен, образуя в центре перед церковью пространство площади.

Второй период (вторая половина XVIII — начало XIX в.) ознаменовался внедрением регулярных планов и усложнением архитектурно-планировочной структуры городов, что повлияло на застройку городских площадей. Пространственная структура городов формировалась за счет магистральных улиц, открытых пространств площадей, функционально дифференцирующихся на торговые, соборные, административные, предзаводские и пр.

Во второй половине XVIII в. происходит увеличение типологии общественных зданий, появляются регулярно распланированные общественно-торговые центры, застроенные торговыми или гостинными рядами.

В период XVIII–XIX вв. в городах преобладающей являлась торгово-ремесленная функция, и торговые площади начали играть роль общегородских центров, сформированных, как правило, самыми представительными зданиями. Главенствующая роль торговых площадей была закреплена регулярными планами. Доминирующими зданиями в застройке торговых площадей, как правило, были храмы. Для торговых площадей в период XVIII–XIX вв. основными являлись торговые здания — лавки, торговые ряды и гостинные дворы. Торговые здания располагались как по периметру площади, так и в ее внутреннем пространстве, где находилось здание гостинного двора (Тюмень).

Центральное место на главных площадях в рассматриваемый период занимали гостинодворские торговые комплексы. Гостинодворские площади Тюмени, Томска и других городов были сформированы крупными объемами гостинных дворов, торговыми рядами, таможенными постройками, лавками, амбарами, биржевыми корпусами, базарными строениями и другими объектами и представляли собой смешанную систему застройки.

Ансамбли главных площадей, основу которых составляли храм и комплекс гостинного двора, характерны для многих провинциальных городов Европейской России и Сибири (Тюмень, Томск, Тобольск и др.). В Тюмени, несмотря на то что историческим ядром ее являлась крепость, соборная церковь также оказалась во внутреннем пространстве торгового центра. Это обусловлено тем, что после перепланировки Тюмени по регулярному плану главная площадь города, имеющая торговые функции, включила в себя территорию бывшей крепости [3].

В конце XVIII — начале XIX в. главные структурные преобразования Тюмени коснулись зоны центра. Строительство гостинного двора в 1835–1838 гг. (архитектор А.П. Суворов), городской управы и ряда других административных и торговых зданий закрепило ядро первоначального центра капитальной застройкой. Вдоль Царской улицы от гостинного двора были созданы наиболее представительные здания города [4].

В отличие от Тюмени стилевому обновлению Тобольска поспособствовал пожар 1788 г., после которого почти все пришлось создавать заново.

По проекту А. Гучева замкнутый крепостной центр изменялся и ему придавался открытый гражданский характер. В центре было предусмотрено строительство двух новых зданий — Дворца наместника и архиерейского дома.

В проекте 1839 г. архитектор П. Вейгель придал новую трактовку тобольскому центру. Несколько изменились функции ранее построенных зданий и были возведены новые, в результате образовалась полуоткрытая периметральная система застройки.

В Томске по утвержденному генеральному плану в 1830 г. активно застраивается Базарная площадь. По свидетельству архивных документов в конце XVIII в. томские купцы построили «без общего единообразного фасада каменные, под деревянными крышами лавки» [5]. Фасады домов в соответствии с «образцовыми» проектами выстраивались в одну прямую линию и выходили на улицу большей стороной. Периметральной системе застройки стала соответствовать фронтальная.

В Барнауле в XVIII в. сереброплавильный завод являлся ядром города и оказывал влияние на формирование его структуры, а предзаводская площадь служила центром общественной жизни жителей. Около завода располагались здания администрации и горного начальства. Застройка XVIII в. была деревянной. Во второй половине XVIII в. в Барнауле строятся первые каменные здания: горная аптека, гауптвахта, здание важни (помещение для взвешивания руд) и др. Важня была возведена из кирпича в монументальных формах классицизма в 1780-х гг.

В первой половине XIX в. происходят значительные качественные преобразования центра Барнаула, где формируется общественно-административная зона. Парадным и официальным центром города становится Демидовская площадь, характеризующаяся периметральной системой застройки.

Третий период (вторая половина XIX в.) — время активного развития капитализма в Сибири. Территории исследуемых городов увеличиваются, происходит перефункциональное переоборудование некоторых из них, что отразилось в изменении генеральных планов, активной застройке общественных центров и главных площадей, строительстве культовых сооружений. С развитием в городах промышленности и торговли во второй половине XIX в. увеличивается количество зданий соответствующего функционального назначения, доминирующим типом торговых заведений являлись лавки, магазины.

В результате реконструкции, осуществлявшейся до конца 30-х гг. XIX в., Тобольск приобрел новый, классический облик. В таком обличье он простоял до середины XIX в., пока пожары и новые веяния в архитектуре постепенно не изгладили былую цельность его застройки. Начавшееся со второй половины века развитие капитализма в России почти не коснулось города, история его как бы остановилась [1].

Во второй половине XIX в. в Томске в связи с приобретением статуса губернского города происходит активизация застройки центра, его формирование и создание площадей с храмами по всей территории. В результате чего образовалась система застройки с перетекающим пространством: улицы — площади — улицы. В этот период на Новособорной площади города были построены Троицкий собор, казарма, здания Присутственных мест, дом губернатора. Торговая площадь продолжала застраиваться капитальными зданиями, в основном торгового назначения.

Четвертый период (конец XIX — начало XX в.). В период развития капитализма, застройка центров городов приобретает новые черты, появ-

ляются новые типы общественных зданий, такие как банки, офисы, крупные торговые центры.

На рубеже XIX–XX столетий в застройке главных площадей Томска, Барнаула и других городов появились монументальные объемы новых соборов, которые заняли господствующее положение и стали доминировать в композиции городского пространства (Троицкий собор на Новособорной площади в Томске). Так возникло сложное сочетание систем — периметральная застройка с островным расположением собора.

Во второй половине XIX — начале XX в. преобладало каменное гражданское и промышленное строительство. В конце XIX в. на улицах центральной части Тюмени происходит резкое увеличение каменных зданий: особняки, купеческие лавки, казенные здания.

В Тобольске в 1828 г. Дворец наместника (1782 г.), располагавшийся в центре бывшего кремля, перестраивается под Присутственные места, что вызвало изменения в характере прилегающего пространства. Ограда, изолирующая парадный двор наместника, снимается и перед зданием Присутственных мест образуется большая публичная площадь. В одном из служебных корпусов, обращенном к Софийскому взвозу, разместились судебные учреждения. На этом завершилось формирование административного центра Тобольска на основе градостроительных принципов классицизма. В середине XIX в. свободная территория вблизи Присутственных мест стала застраиваться казенными зданиями [1].

В период XIX — начало XX в. в Томске появляется большое количество новых общественных комплексов: торговых и административных сооружений, доходных и увеселительных домов, учебных комплексов и др., оказавших значительное влияние на изменение как отдельных улиц и площадей, так и всего города. Постройки К.К. Лыгина, П.Ф. Федоровского, Ф.Ф. Гута, А.Д. Крячкова, В.Ф. Оржешко, значительные по размерам, выполненные на высоком профессиональном уровне, изменили постепенно внешний облик Томска, но генеральный план города, составленный в 1830 г. архитектором В.В. Гесте, остался неизменным, и укрупненная застройка уже не соответствовала мелкой сетке кварталов. Город заполнили соответствующие капиталистическому обществу здания — пассажи, ломбарды, вокзал, торгово-складские корпуса, банки, промышленные сооружения, коммерческие училища, а также здания различного назначения — кинотеатры, бани, библиотеки, казармы и др. Разрушились архитектурное и стилевое единство города, заложенное в первой половине XIX в., и система застройки. Эклектика, провинциальный модерн, излишества купеческой архитектуры постепенно заменяли классицизм и народное зодчество старого Томска [6].

Здания, формирующие главные площади, в каждый исторический период претерпевали изменения в архитектурно-пространственном, конструктивном аспекте, однако площади всегда оставались местом концентрации значительных сакральных, административных, зрелищных, культурных, торговых и других функций.

Архитектурно-художественная композиция и система застройки площадей связана с общей планировочной системой и композицией исторических городов и ее эволюцией в ранее обозначенные периоды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кириллов, В.В. Тобольск [Текст] / В.В. Кириллов. — М. : Искусство, 1984. — 239 с.
2. Степанская, Т.М. Архитектура Алтая XVIII — начала XX вв. [Текст] / Т.М. Степанская. — Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 1995. — 182 с.
3. М ж е л ь с к и й, В.М. Анализ застройки торговых площадей уездных городов России XVIII–XIX веков [Текст] / В.М. Мжельский // Проектирование и строительство в Сибири. — 2003. — № 6(18). — С. 79–85.
4. З а в а р и х и н, С.П. Архитектура Тюмени [Текст] / С.П. Заварихин, Б.А. Жученко. — Тюмень: Радуга-Т, 2004. — 295 с.
5. П о п о в, А.И. Томск [Текст] / А.И. Попов. — М., 1959. — 132 с.
6. Б а л а н д и н, С. Сибирский архитектор А.Д. Крячков [Текст] / С. Баландин, О. Ваганова. — Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1973. — 55 с.

*АКИМОВА Мария Игоревна, канд. искусствоведения, доц.
Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин)*

Получено 05.06.15

Akimova Mariya Igorevna, candidate of art history, assistant professor, Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Russia

**SYSTEM OF BUILDING OF MAIN AREAS
OF WESTERN SIBERIA CITIES**

The regularities of development of the historic core and the main area determine the system development and its changes in different periods on the basis of the analysis of architectural and planning systems of the cities of Western Siberia.

Key words: city center, system of building, main area, planning system, architectural and spatial composition, periods of evolution of building of main areas.

REFERENCES

1. Kirillov, V.V. Tobolsk [Text] / V.V. Kirillov. — M. : Art, 1984. — 239 p.
2. Stepan'skaya, T.M. Arkhitektura of Altai XVIII — the beginnings of the XX centuries [Text] / T.M. Stepan'skaya. — Barnaul: Publishing house of the Altai State University, 1995. — 182 p.
3. Mzhelskiy, V.M. The analysis of building of the trade areas of the provincial towns of Russia XVIII–XIX centuries [Text] / V.M. Mzhelskiy // Design and construction in Siberia. — 2003. — N 6 (18). — P. 79–85.
4. Zavarikhin, S.P. Arkhitektura of Tyumen [Text] / S.P. Zavarikhin, B.A. Zhuchenko. — Tyumen : Raduga-T, 2004. — 295 p.
5. Popov, A.I. Tomsk [Text] / A.I. Popov. — M., 1959. — 132 p.
6. Balandin, S. Siberian architect A.D. Kryachkov [Text] / S. Balandin, O. Vaganova. — Novosibirsk: West-Siberian book publishing house, 1973. — 55 p.

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

УДК 621.928.23.001.24

**В.С. БОГДАНОВ, Е.Б. АЛЕКСАНДРОВА, Е.В. РУДАКОВА,
Д.В. БОГДАНОВ**

РАСЧЕТ ПОТРЕБЛЯЕМОЙ МОЩНОСТИ ВИНТОВОГО ГРОХОТА

Рассматривается методика расчета потребляемой мощности привода вертикального спирально-винтового грохота. Приведены формулы для определения составляющих мощности привода; работы, затрачиваемой на перемещение материала; скорости движения материала и производительности грохота. Дан пример расчета грохота.

Ключевые слова: винтовой грохот, мощность, классификация, сито, амплитуда.

С целью минимизации затрат на строительство технологических линий, например, по приготовлению сухих строительных смесей стали применять спирально-винтовые вертикальные грохоты [1, 2]. До настоящего времени отсутствовала методика расчета потребляемой мощности привода.

Мощность P , потребляемую винтовым грохотом, можно представить в виде суммы [3]

$$P = P_x + P_{\text{дгм}} + P_{\text{дд}}, \quad (1)$$

где P_x — мощность, потребляемая грохотом на холостом ходу;

$P_{\text{дгм}}$ — дополнительная мощность, потребляемая грохотом, в связи с наличием присоединяемых к корпусу масс;

$P_{\text{дд}}$ — дополнительная мощность, потребляемая грохотом на сообщение материалу движения в процессе классификации.

Дополнительная мощность, потребляемая грохотом в связи с наличием присоединяемых к корпусу масс, определяется выражением:

$$P_{\text{дгм}} = P_{\text{дг}} + P_{\text{дм}}, \quad (2)$$

где $P_{\text{дг}}$ — мощность, потребляемая из-за добавления к коробу дополнительного груза;

$P_{\text{дм}}$ — мощность, потребляемая из-за наличия в коробе грохота материала.

Для расчета потребляемой мощности $P_{\text{дм}}$ необходимо установить среднее количество материала, находящегося в коробе в любой момент времени. Из короба материал удаляется только через патрубки выгрузки подрешетного продукта. Так что расчетная схема распределения материала по длине винтовой трубы, например, при трех равных (по длине) ситах, выглядит, как показано на рис. 1.

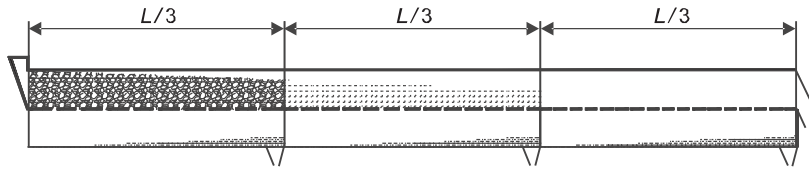


Рис. 1. Распределение материала по длине винтового короба

Если скорость перемещения материала вдоль сит обозначить через v_0 , то расстояние $L/3$ материал проходит за время Δt , рассчитываемое по формуле

$$\Delta t = \frac{L}{3v_0}. \quad (3)$$

За время Δt через загрузочное отверстие поступит количество материала, масса которого может быть определена через производительность грохота по исходному продукту $Q_{исх}$

$$Q_{\Delta t} = Q_1 \Delta t = \frac{Q_{исх} \Delta t}{3600} = \frac{Q_{исх} L}{3600 \cdot 3v_0}. \quad (4)$$

Это количество материала и находится на первом сите.

В общем случае пусть имеется n сит с длинами L_i и коэффициентами прохождения материала через i -е сито α_i , $i = 1, 2, \dots, n$. Коэффициенты α_i характеризуют отношение подрешетного продукта к надрешетному на i -м сите, т. е. если на сито поступило количество материала с массой m_n , масса подрешетного продукта после прохождения материала по ситам — m_n , то

$$\alpha_i = m_n / m_n, \quad (5)$$

при этом $0 < \alpha_i < 1$. Тогда масса материала, находящегося в каждый момент времени в грохоте $m_{дм}$, определится по формуле:

$$m_{дм} = m_1 + \frac{Q_{исх}}{3600v_0} \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - \alpha_j) \right) L_i, \quad (6)$$

где, в соответствии с формулой (4),

$$m_1 = \frac{Q_{исх} L_1}{3600v_0}, \quad (7)$$

так что получаем:

$$P_{дм} = \frac{Q_{исх}}{3600v_0} \left(L_1 + \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - \alpha_j) \right) L_i \right). \quad (8)$$

Для того чтобы применять формулу (8), необходимо знать коэффициенты α_i и среднюю скорость движения материала по ситам v_0 . Коэффициенты α_i устанавливаются экспериментально.

Если массу материала $m_{дм}$ разместить в объеме с размерами a (ширина сита), h (средняя высота слоя материала на ситах) и длиной L' , то длина L' может быть определена из соотношения $Q = \gamma V = \gamma a h L'$, так что

$$L' = \frac{Q}{\gamma ah}. \quad (9)$$

Средняя скорость движения материала будет равна

$$v_0 = \frac{Q_{исх}}{\gamma ah}. \quad (10)$$

При использовании формулы (10) следует иметь в виду, что, во-первых, h — средняя высота слоя материала по длине винтового короба, которую можно определять как $h = 0,5h_{вх}h_{вых}$,

где $h_{вх}$, $h_{вых}$ — высота слоя материала на входе и выходе из короба. Во-вторых, массовая плотность материала γ также убывает по длине короба, так как на каждом последующем сите находятся все более и более крупные частицы материала. Поэтому среднюю массовую плотность материала следует вычислять по формуле:

$$\gamma = 0,5\gamma_{исх}\gamma_{вых}, \quad (11)$$

где $\gamma_{исх}$, $\gamma_{вых}$ — массовая плотность материала на входном и выходном ситах.

С учетом формулы (10) полученную выше формулу (8) можем записать в окончательном виде:

$$P_{дм} = \frac{\gamma ah}{3600} \left(L_1 + \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - \alpha_j) \right) L_i \right). \quad (12)$$

Так, для следующих значений входных параметров:

$$\begin{aligned} Q_{исх} &= 2 \cdot 10^2 \text{ кг/ч}, \quad a = 1,0 \cdot 10^{-1} \text{ м}; \quad h_{вх} = 1,0 \cdot 10^{-2} \text{ м}; \\ h_{вых} &= 1,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}; \quad h = 6,0 \cdot 10^3 \text{ м}; \quad \gamma_{исх} = 1,85 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \\ \gamma_{вых} &= 1,25 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \quad \gamma = 1,55 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3; \\ v_0 &= 6,53 \cdot 10^2 \text{ м/с}. \end{aligned}$$

При $L_1 = L_2 = L_3 = 0,83$ м, $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,1$ получаем:

$$m_{дм} = 1,9 \text{ кг}.$$

Таким образом, для второго слагаемого в формуле (1)

$$P_{дгм} = 0,0429m_{дг} + \frac{\gamma ah}{3600} \left(L_1 + \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - \alpha_j) \right) L_i \right). \quad (13)$$

В полученной формуле $m_{дг}$ имеет размерность килограмм, а произведение $0,0429m_{дг}$ — киловатт.

Предварительно оценим теоретически возможную максимальную величину $P_{дд} - P_{дд}^{\max}$.

На частицу, находящуюся на поверхности сита, в вертикальном направлении действуют две силы: сила давления со стороны перегородки

$\bar{F}_{\text{оп}}$ и сила тяжести \bar{G} . Пока частица находится на сите (неподвижна относительно его), ее движение определяется движением сита [4]:

$$x(t) = A \sin kt, \quad (14)$$

где A — амплитуда колебаний;
 k — круговая частота колебаний сита.

Так как

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Ak \cos kt; \\ \ddot{x}(t) &= -Ak^2 \sin kt, \end{aligned} \quad (15)$$

то уравнение движения частицы запишется в виде

$$m\ddot{x}(t) = G - F_{\text{оп}}, \quad (16)$$

или, с учетом (19),

$$-mAk^2 \sin kt = G - F_{\text{оп}}, \quad (17)$$

откуда следует, что в момент времени $t = 0$ сила нормального давления становится равной силе тяжести, скорость сита начинает уменьшаться в соответствии с (14), и скорость частицы также снижается, но под действием только силы тяжести.

Таким образом, после отрыва от сита частица движется до следующего столкновения с ним по параболической траектории по закону

$$x(t) = -\frac{gt^2}{2} + v_0 t = -\frac{gt^2}{2} + Akt, \quad (18)$$

где v_0 определяется из первой формулы в (19) при $t = 0$.

Время столкновения с ситом вычисляется из уравнения

$$Akt - \frac{gt^2}{2} = A \sin kt. \quad (19)$$

На рис. 2 представлены траектории движения частицы и сита для трех разных значений амплитуд колебаний сита.

Время свободного полета частиц составляет для амплитуды 0,5 мм — 0,025 с; 1,0 мм — 0,051 с; 1,5 мм — 0,076 с.

Далее рассмотрим часть слоя надрешетного материала, занимающего следующий объем: ширина равна ширине сита a , высота равна высоте слоя h и длина — Δl . Масса Δm этого объема равна $\Delta m = \gamma ah \Delta l$. Если этот объем материала подбрасывается ситом вверх со скоростью v , то тем самым ему сообщается кинетическая энергия ΔE , величина которой определяется формулой [2, 3]

$$\Delta E_{\text{кн}} = \frac{\Delta m v^2}{2}. \quad (20)$$

С учетом формул (15) и (20) находим

$$\Delta E_{\text{кн}} = \frac{1}{2} \gamma ah \Delta l (Ak)^2, \quad (21)$$

или, так как

$$k = 2\pi n, \quad (22)$$

$$\Delta E_{\text{кн}} = \frac{1}{2} \gamma ah \Delta l 4\pi^2 A^2 n^2 = 2\pi^2 \gamma ah A^2 n^2 \Delta l. \quad (23)$$

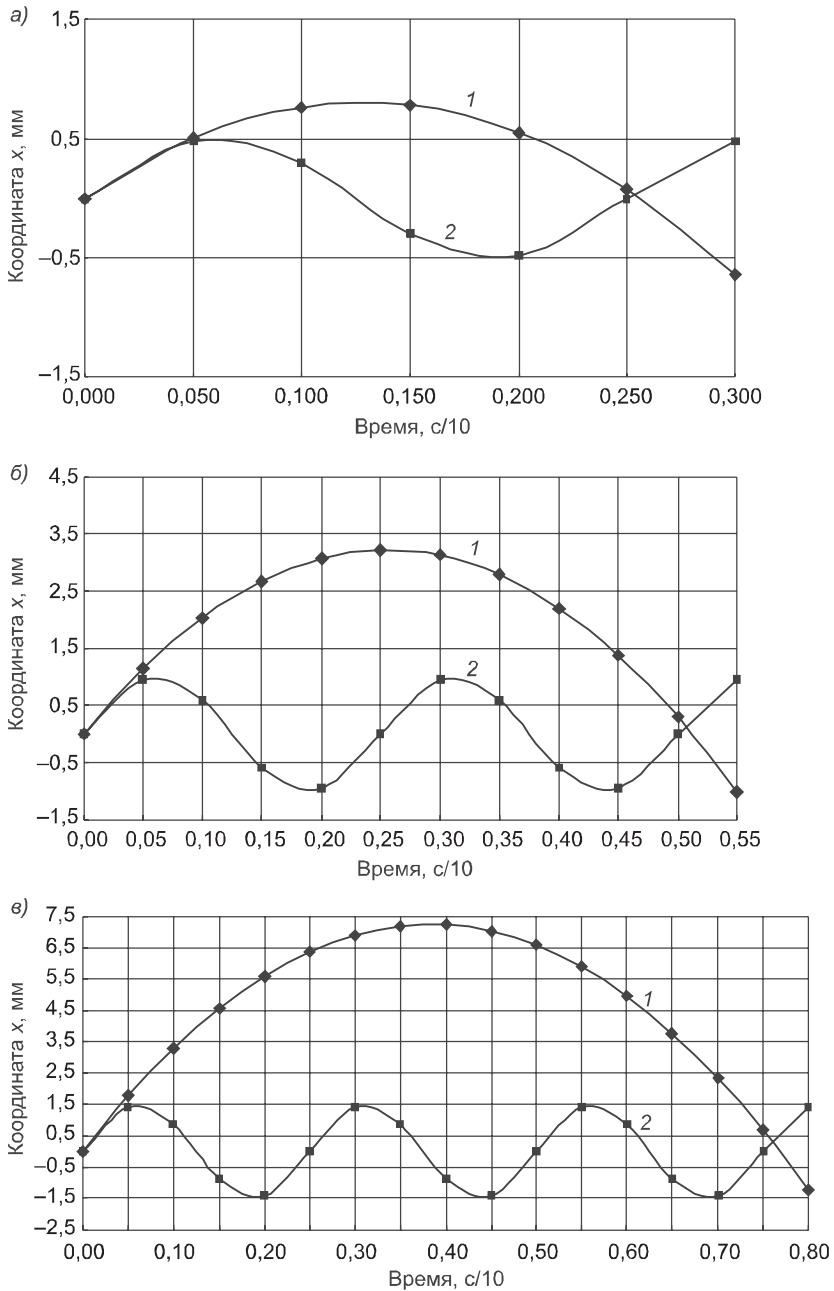


Рис. 2. Траектории движения частицы (1) и сита (2) при амплитуде $A = 0,5$ мм (а), $A = 1,0$ мм (б), $A = 1,5$ мм (в)

Кинетическая энергия, которая передается грохотом всему материалу, находящемуся на ситах, определяется формулой

$$E_{\text{кн}} = 2\pi^2 a A^2 n^2 \int_0^L \gamma(l) h(l) dl, \quad (24)$$

где L — общая длина сит (по осевой линии), а удельная плотность γ и высота слоя материала h меняются в зависимости от его расстояния от места загрузки (из-за просеивания части материала) (см. рис. 2, в).

Таким образом, мощность, потребляемая на перемещение материала по вертикали $P_{\text{ддв}}$, может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{ддв}} = \frac{E_{\text{кн}}}{\Delta t} = \frac{2\pi^2 a A^2 n^2}{\Delta t} \int_0^L \gamma(l) h(l) dl, \quad (25)$$

где Δt — промежуток времени, в течение которого материалу передается кинетическая энергия $E_{\text{кн}}$.

Выше было получено уравнение (19) для определения времени движения отдельной частицы от момента отрыва от сита до момента соударения с ним, которое зависело от амплитуды колебаний A сита. На практике частица, находящаяся на поверхности сита, после отрыва от него сразу же сталкивается с частицами, расположенными выше нее, которые, в свою очередь, сталкиваются с расположенными выше них частицами и так далее.

Поскольку все соударения частиц являются неупругими, при каждом соударении происходит потеря кинетической энергии. Таким образом, кинетическая энергия рассеивается за один период колебаний T , который определяется по формуле

$$T = 1/n, \quad (26)$$

так при $\Delta t = T$ формула (26) окончательно принимает вид:

$$P_{\text{ддв}} = \frac{E_{\text{кн}}}{\Delta t} = 2\pi^2 a A^2 n^3 \int_0^L \gamma(l) h(l) dl. \quad (27)$$

Найдем среднюю оценку кинетической энергии $E_{\text{ср}}$, считая, что величина удельной плотности γ и высота слоя материала h постоянны и равны их средним значениям в месте загрузки. В этом случае формула (24) запишется в виде:

$$E_{\text{ср}} = 2\pi^2 a A^2 n^2 \gamma_0 h_0 L.$$

Следовательно, средняя мощность, потребляемая на перемещение материала по вертикали — $P_{\text{ддв}}^{\text{ср}}$, может быть рассчитана по формуле

$$P_{\text{ддв}}^{\text{ср}} = \frac{E_{\text{ср}}}{\Delta t} = 2\pi^2 a A^2 n^3 \gamma_0 h_0 L.$$

Для оценки порядка величины $P_{\text{ддв}}^{\text{ср}}$ определим ее для средних значений параметров, входящих в формулу: $a = 1,0 \cdot 10^{-1}$ м; $A = 1,5 \cdot 10^{-3}$ м; $n = 40$ с⁻¹; $n = 40$ с⁻¹; $\gamma_0 = 1850$ кг/м³; $h_0 = 2,0 \cdot 10^{-2}$ м; $L = 2,5$ м; $P_{\text{ддв}}^{\text{ср}} = 26,3$ Вт.

Рассчитаем вторую составляющую потребляемой мощности $P_{\text{дд}} - P_{\text{ддг}}$, требующейся для перемещения материала вдоль поверхности винтового короба и сита. Так же, как и ранее, рассмотрим часть слоя надрешетного материала с размерами a , h и Δl . Чтобы переместить его на расстояние Δs ,

необходимо преодолеть силу трения $\overline{F}_{\text{тр}}$, модуль которой определяется формулой

$$F_{\text{тр}} = fF_{\text{оп}}, \quad (28)$$

где f — коэффициент трения скольжения;
 $F_{\text{оп}}$ — сила нормального давления.

В рассматриваемом случае объем материала движется по винтовой линии, в результате возникает сила инерции $\overline{F}_{\text{ин}}$, прижимающая материал к внешней стороне трубы, в которой расположены сита. Величина этой силы определяется по формуле

$$F_{\text{ин}} = \frac{\Delta m v^2}{R}, \quad (29)$$

где v — скорость движения материала по винтовой трубе;
 R — кривизна траектории, в рассматриваемом случае это расстояние от оси винтовой линии до середины (по ширине) сита.

В первом случае сила нормального давления равна весу рассматриваемого объема материала:

$$F_{\text{оп}} = G = \Delta m g, \quad (30)$$

во втором —

$$F_{\text{оп}} = F_{\text{ин}} = \frac{\Delta m v^2}{R}. \quad (31)$$

Таким образом, работа, которую необходимо затратить на перемещение материала вдоль короба, определяется формулой

$$\Delta A = F_{\text{тр}} \Delta s + F_{\text{ин}} \Delta s = f_1 \Delta m g \Delta s + f_2 \frac{\Delta m v^2}{R} \Delta s, \quad (32)$$

где f_1 и f_2 — коэффициенты трения скольжения материала о поверхность сита и о поверхность трубы соответственно;
 Δs — перемещенный объем материала.

Тогда мощность, необходимая для совершения работы по перемещению указанного объема, рассчитывается по формуле

$$\Delta P_{\text{ддг}} = \frac{\Delta A}{\Delta t} \left(f_1 \Delta m g + f_2 \frac{\Delta m v^2}{R} \right) \frac{\Delta s}{\Delta t} = \Delta m \left(f_1 g + f_2 \frac{v^2}{R} \right) v, \quad (33)$$

а полная мощность, необходимая для перемещения всего материала по всей трубе, — по формуле

$$P_{\text{ддг}} = \int \left(f_1 g + f_2 \frac{v^2}{R} \right) v dm. \quad (34)$$

С учетом формулы (14) последнее выражение может быть записано в виде:

$$P_{\text{ддг}} = a \int_0^L \left(f_1 g + f_2 \frac{(v(l))^2}{R} \right) v(l) \gamma(l) h(l) dl. \quad (35)$$

Как и ранее для $P_{ддв}^{ср}$, при тех же значениях входных параметров найдем среднюю оценку $P_{ддг}^{ср}$. Формула для ее определения выглядит следующим образом:

$$P_{ддг}^{ср} = a \left(f_1 g + f_2 \frac{v_0^2}{R} \right) v_0 \gamma_0 h_0 L.$$

С учетом формулы (10) последнее выражение можно также записать в виде

$$P_{ддг}^{ср} = \left(f_1 g + f_2 \frac{v_0^2}{R} \right) Q_{исх} L.$$

Для случая, когда $Q_{исх} = 200$ кг/ч, значения остальных параметров такие же, как при расчете $P_{ддв}^{ср}$, и $f_1 = 0,9$, $f_2 = 0,5$ (трение о сито больше чем трение о поверхность винтовой трубы), получаем: $P_{ддг}^{max} = 12,3$ Вт.

Таким образом, окончательная формула для вычисления потребляемой винтовым грохотом мощности выглядит так:

$$P = P_x + a_{гр} m_{дг} + \frac{\gamma a h}{3600} \left(L_1 + \sum_{i=2}^n \left(\prod_{j=1}^i (1 - a_j) \right) L_i \right) + \quad (36)$$

$$+ 2\pi^2 a A^2 n^3 \int_0^L \gamma(l) h(l) dl + a \int_0^L \left(f_1 g + f_2 \frac{(v(l))^2}{R} \right) v(l) \gamma(l) h(l) dl,$$

где $a_{гр} = 0,0429$ кВт/кг, обозначения остальных параметров понятны из предыдущего.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Богданов, В.С. Инерционный грохот с геликоидной просеивающей поверхностью [Текст] / В.С. Богданов, С.С. Латышев, Е.В. Рудакова // Интерстроймех-011: материалы междунар. науч.-техн. конф. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации. — Могилев : Белорус.-Рос. ун-т, 2011. — С. 267–268.
2. Богданов, В.С. Пути увеличения степени однородности сухих строительных смесей с целью формирования максимального их качества [Текст] / П.С. Горшков, Н.П. Несмеянов, Ю.В. Бражник // Вестн. БГТУ им. В.Г. Шухова. — 2013. — № 4. — С. 62–64.
3. Вайсберг, Л.А. Проектирование и расчет вибрационных грохотов [Текст] / Л.А. Вайсберг. — М. : Недра, 1986. — 144 с.
4. Блехман, И.И. Вибрационная механика [Текст] / И.И. Блехман. — М. : Физмалит, 1994. — 400 с.

БОГДАНОВ Василий Степанович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
АЛЕКСАНДРОВА Елена Борисовна, канд. техн. наук, доц.; E-mail: aleksandrova76@mail.ru

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова
РУДАКОВА Елена Вячеславовна, канд. техн. наук
Курский институт социального образования (филиал РГСУ)

БОГДАНОВ Денис Васильевич, канд. техн. наук, доц.

Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова

Получено 08.06.15

Bogdanov Vasily Stepanovich, doctor of technical sciences, professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Alexandrova Elena Borisovna, candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

Rudakova Elena Vyacheslavovna, candidate of technical sciences, Kursk Institute for Social Education (department of RSSU), Russia

Bogdanov Denis Vasilievich, candidate of technical sciences, assistant professor, Belgorod Shukhov State Technological University, Russia

THE POWER CONSUMPTION FOR HELICAL SCREEN

In the article described the power consumption calculating for the vertical spiral-helix screen. Given formulas for determining the components of the drive power; the work, done for moving the material; the speed of material movement and the productivity of screening. Given an example of the screencalculation.

Key words: helix screen, power, classification, screen, amplitude.

REFERENCES

1. Bogdanov, V.S. Inertial screen with helicoid screening surface [Text] / V.S. Bogdanov, S.S. Latyshev, E.V. Rudakova // Interstroyemeh-011: Proceedings of the international. scientific and engineering. conf. / M Education of Rep. Belarus, M of Education and Science Ros. Federatsii. — Mogilev : Belarus. Ros. University Press, 2011. — P. 267–268.
2. Bogdanov, V.S. Ways of increasing the degree of homogeneity of dry mixes for achievement the maximum quality [Text] / P.S. Gorshkov, N.P. Nesmeyanov, Yu.V. Brazhnik // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. — 2013. — N 4. — P. 62–64.
3. Weisberg, L.A. Design and calculation of vibrating screens [Text] / L.A. Weisberg. — M. : Nedra, 1986. — 144 p.
4. Blekhman, I.I. Vibrational mechanics [Text] / I.I. Blekhman. — M. : Fizmalit, 1994. — 400 p.

УДК 532.542

Л.И. ВЫСОЦКИЙ

О КОНСТАНТЕ КАРМАНА

Часть II*

Обосновывается стохастичность взаимосвязи зависимости погрешностей при определении опытных значений константы Кармана по опытным значениям осредненных скоростей, что не позволяет использовать традиционный прием для установления вариабельности константы Кармана.

К л ю ч е в ы е с л о в а: константа Кармана, число Рейнольдса, осредненная скорость, модели турбулентных потоков.

Продемонстрируем изложенное в первой части статьи с помощью вычислительного эксперимента при использовании предложенной в [1] новой модели строения продольно-однородного турбулентного потока и универсальной формулы для распределения осредненных скоростей.

Напомним, что в [1] принята пятислойная модель строения потока. Три из них относятся к пристенному слою, толщина которого $\delta_{ст}$ принимается зависящей от числа Рейнольдса Re_L и относительной эквивалентной шероховатости Δ_s/L , где L — характерная линейная величина (диаметр для труб, глубина для плоского потока, толщина для пограничного слоя). При гладких стенках она делится на три зоны. В первой зоне турбулентная вязкость отрицательна. Во второй зоне кинематический коэффициент вязкости увеличивается медленнее, чем в третьей. Соотношение толщин этих зон принято универсальным и равным 1,5:30:70.

Турбулентное ядро делится на две части. На расстоянии от $\delta_{ст}$ до AL распределение скоростей является логарифмическим, а от AL до L — параболическим.

Закон распределения осредненных скоростей получен интегрированием основного уравнения равномерного движения. В пределах толщины пристенного слоя оно выполнялось численно, а для зон турбулентного ядра — аналитически. В результате было установлено, что в пределах логарифмического слоя турбулентного ядра имеет место формула¹

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{\bar{u}_{ст}}{u_*} + \frac{1}{k} \left[\ln \frac{z}{\delta_{ст}} - \frac{z - \delta_{ст}}{L} \right], \quad (5)$$

а в параболической зоне

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{\bar{u}_{ст}}{u_*} + \frac{1}{k} \left(\ln \frac{AL}{\delta_{ст}} - A + \frac{\delta_{ст}}{L} \right) + \frac{1}{kA} \left[\frac{z}{L} \left(1 - 0,5 \frac{z}{L} \right) - A + \frac{A^2}{2} \right], \quad (6)$$

где $u_{ст}$ — скорость на границе пристенного слоя;

* См.: Высоцкий Л.И. О константе Кармана. Ч. I // Изв. вузов. Строительство. 2015. № 6. С. 81–89.

¹ В статье продолжается нумерация формул и таблиц части I.

a и A — параметры, зависящие от числа Re_L и Δ_3/L и определяющие толщины пристенного и логарифмического слоев. Они находятся решением системы двух трансцендентных уравнений [1].

Уравнения (5) и (6) являются универсальными, удовлетворяют всем граничным условиям, не содержат никаких поправочных коэффициентов, справедливы для всех зон сопротивления и для течений как в круглых трубах, так и в плоских потоках, и в пограничных слоях при нулевом градиенте давления. Следуя изложенной методике определения варибельности константы Кармана, разрешим уравнения (5) и (6) относительно k . В результате получим:

$$k_{оп} = \left[\ln \frac{z}{\delta_{ст}} - \frac{z - \delta_{ст}}{L} \right] / (u_{оп} - u_{ст}); \quad (7)$$

$$k_{оп} = \left\{ \left(\ln \frac{AL}{\delta_{ст}} - A + \frac{\delta_{ст}}{L} \right) + \frac{1}{kA} \left[\frac{z}{L} \left(1 - 0,5 \frac{z}{L} \right) - A + \frac{A^2}{2} \right] \right\} / (u_{оп} - u_{ст}). \quad (8)$$

Выполним вычислительный эксперимент с использованием опытных данных М. Загаролы [2] (для круглой трубы) и Дж. Остерлунда [3] (для пограничного слоя). Они в настоящее время признаны наиболее достоверными. Результаты определения значений $k_{оп}$, получаемых после подстановки опытных значений осредненных скоростей $u_{оп}$ вместо расчетных, показаны в табл. 2–5. Заметим, что при использовании расчетных значений скоростей в турбулентном ядре всюду константа Кармана принимает фундаментальное значение $k = 0,4$. Проценты отклонения от него приведены в тех же таблицах.

В табл. 2–5 представлены расчеты с использованием опытных данных М. Загаролы [2], полученных при исследовании распределения осредненных скоростей в воздушном потоке в круглой трубе диаметром 12,9 см. Были предприняты усилия по обеспечению гладкости стенок вплоть до двойной их полировки.

Таблица 2

$Re_d = 31\ 577; \Delta/r = 0; A = 0,1854;$ $a = 75,15; u_{ст} = 16,43$						$Re_d = 1\ 023\ 800; \Delta/r = 0; A = 0,1738;$ $a = 72,84; u_{ст} = 16,21$					
y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%	y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%
83,03	16,243	16,61	-2,3	-0,48	-221	137,25	17,259	17,78	3,8	0,604	51,0
96,37	16,554	16,95	-2,3	1,747	350	150,85	17,633	18,02	2,2	0,512	28,3
111,90	16,803	17,30	-2,9	0,984	138	1064,2	22,239	22,78	2,4	0,445	11,2
130,00	17,223	17,64	-2,4	0,610	52	3007,2	24,761	25,16	1,6	0,435	8,8
154,07	17,822	17,96	-0,8	0,437	9,3	3494,5	25,134	25,46	1,3	0,433	8,2
204,18	18,588	18,63	-0,02	0,373	-6,8	9865	28,238	28,54	1,2	0,406	1,5
237,44	18,897	19,00	-0,05	0,390	-2,5	12300	29,031	29,33	1,0	0,405	1,2
426,49	20,026	20,89	-0,4	0,386	-3,5	15950	29,896	30,05	0,5	0,402	0,5
636,93	22,430	22,15	1,2	0,369	-7,8	17776	30,164	30,24	0,2	0,401	0,2
821,07	23,023	22,58	1,9	0,362	-9,5	18993	30,215	30,29	0,2	0,402	0,5
849,00	23,028	22,59	2,2	0,359	-10,2	20210	30,267	30,29	0,1	0,401	0,2

Таблица 3

Re _d = 10 249 000; Δ/r = 0; A = 0,1735; a = 72,33; u _{ст} = 16,11						Re _d = 35 259 000; Δ/r = 0; A = 0,1735; a = 72,08; u _{ст} = 16,05					
y ⁺	u _{оп} ⁺	u _{расч} ⁺	%	k _{оп}	%	y ⁺	u _{оп} ⁺	u _{расч} ⁺	%	k _{оп}	%
1154	22,194	23,02	3,7	0,453	13,2	3686	24,921	25,50	2,3	0,443	10,7
1570	22,972	23,79	3,6	0,446	11,5	6342	26,148	26,80	2,5	0,442	10,5
3812	25,056	26,12	4,2	0,440	10,0	10627	27,277	28,42	4,2	0,443	10,7
5804	26,034	26,80	2,9	0,438	9,5	21387	28,819	30,23	4,9	0,443	10,7
7739	26,812	27,56	2,8	0,432	8,0	24708	29,145	30,58	4,9	0,442	10,5
10365	27,522	28,40	2,8	0,429	7,2	28577	29,456	30,83	5,1	0,442	10,5
16154	28,549	29,39	2,9	0,426	6,5	33094	29,849	32,20	4,6	0,440	10,0
25292	29,600	30,36	2,6	0,422	5,5	51576	30,917	32,22	4,2	0,435	8,8
34165	30,480	31,03	1,8	0,414	3,5	80751	32,107	33,18	3,4	0,428	7,0
72740	32,841	33,22	1,2	0,410	2,8	109080	32,848	33,78	2,9	0,423	5,8
103450	34,023	34,50	1,4	0,411	2,5	232240	36,108	36,06	2,7	0,420	5,0
134150	34,885	35,25	1,2	0,408	2,0	330280	36,392	37,33	2,6	0,418	4,5
164860	35,239	35,51	0,8	0,406	1,5	526360	37,670	38,34	1,8	0,412	3,0

Таблица 4

Re _d = 35 259 000; Δ/r = 0,0000067; A = 0,1735; a = 62,21; u _{ст} = 13,85						Re _d = 35 259 000; Δ/r = 0,0000034; A = 0,1735; a = 66,31; u _{ст} = 14,77					
y ⁺	u _{оп} ⁺	u _{расч} ⁺	%	k _{оп}	%	y ⁺	u _{оп} ⁺	u _{расч} ⁺	%	k _{оп}	%
3686	24,921	24,00	-3,7	0,402	0,5	3686	24,921	24,80	-0,5	0,396	-1,0
6342	26,148	25,38	-2,9	0,401	0,2	6342	26,148	26,14	0,0	0,401	0,2
10627	27,277	26,68	-2,2	0,401	0,2	10627	27,277	27,40	0,4	0,406	1,5
21387	28,819	28,36	-1,6	0,402	0,5	21387	28,819	29,12	1,1	0,411	2,8
24708	29,145	28,70	-1,2	0,403	0,7	24708	29,145	29,46	0,7	0,412	3,0
28577	29,456	29,05	-1,4	0,403	0,7	28577	29,456	29,80	1,2	0,413	3,2
33094	29,849	29,46	-1,3	0,402	0,5	33094	29,849	30,15	0,7	0,412	3,0
51576	30,917	30,43	-1,6	0,408	2,0	51576	30,917	31,17	0,7	0,412	3,0
80751	32,107	31,40	-2,3	0,408	2,0	80751	32,107	32,15	0,2	0,410	2,5
109080	32,848	32,05	-2,4	0,401	0,2	109080	32,848	32,79	-0,2	0,399	-0,2
232240	36,108	34,29	-2,3	0,402	0,5	232240	36,108	35,08	-0,06	0,399	-0,2
330280	36,392	35,55	-2,3	0,407	1,8	330280	36,392	36,32	-0,2	0,400	0,0
526360	37,670	36,64	-2,5	0,400	0,0	526360	37,670	37,34	-1,0	0,394	1,5

Диапазон значений чисел Рейнольдса был уникальным. Он изменялся от Re_d = 31 577 до Re_d = 31 259 000.

Осредненные скорости измерялись трубкой Пито диаметром 0,9 мм в 52 точках в пределах расстояний по нормали к стенке от 0,007r до 1,5r. Величина Δ⁺ при Re_d = 31 259 000 оценивается в [4] значением Δ⁺ = 3,5.

Таблица 5. Сопоставление расчетных данных с результатами опытов Дж. Остерлунда [3]

$Re_\delta = 968,2; \delta/\delta_{ст} = 13,77; A = 0,1238;$ $a = 70,31; u_{ст}^+ = 15,43$						$Re_\delta = 3639; \delta/\delta_{ст} = 5133; A = 0,1218;$ $a = 70,62; u_{ст}^+ = 15,67$					
y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%	y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%
77,34	15,525	15,63	0,7	0,927	131,7	75,20	15,600	15,81	1,3	-0,88	-320
95,74	15,990	16,13	0,9	0,504	26,0	92,25	16,004	16,33	2,0	0,782	95,5
118,34	16,516	16,59	0,4	0,434	8,5	170,96	17,436	17,80	2,1	0,485	21,25
146,23	17,141	17,10	0,3	0,393	-1,7	315,62	18,991	19,23	1,2	0,431	7,7
180,49	17,681	17,70	0,1	0,432	8,0	474,78	20,114	20,15	0,2	0,405	1,2
222,87	18,338	18,40	0,0	0,406	1,5	713,64	21,399	21,27	-0,6	0,393	-1,8
274,96	19,070	19,22	0,8	0,414	3,5	1072,61	22,772	22,81	0,2	0,404	1,0
339,35	19,080	20,13	1,2	0,414	3,5	1611,95	24,719	24,72	0,0	0,401	0,2
418,54	20,824	21,15	1,1	0,421	5,2	1975,94	25,795	25,76	-0,1	0,400	0,0
516,19	21,879	22,21	0,8	0,422	5,5	2422,15	26,913	26,76	-0,6	0,395	-1,2
636,67	22,896	23,23	1,4	0,417	4,2	2969,0	27,732	27,33	0,0	0,395	-1,2
785,15	23,909	34,06	0,6	0,405	1,2	3639,38	27,940	27,93	-0,1	0,399	-0,2
968,21	24,457	24,45	0,0	0,397	-0,7						

Авторы [4] определяют «зону сопротивления как гладкостенную во всем диапазоне чисел Re_d ». В ряде публикаций это положение подвергается сомнению.

Обратим внимание на следующее обстоятельство: по данным исследований авторов (см. табл. 1, ч. I), значение y^+ , соответствующее началу удовлетворительного совпадения опытных данных с логарифмическим законом распределения скоростей, оказывается равным $100 \div 600$, в то время как при расчете по формулам (5), (6) оно примерно $y^+ \cong 70$.

Анализ приведенных данных позволяет заключить:

1. Расчетные значения осредненных скоростей, полученных по приведенной формуле, отличаются от экспериментальных данных [2] М. Загаролы не более чем на 5 % в диапазоне чисел Рейнольдса для круглой трубы $3 \cdot 10^4 \leq Re_d \leq 3,5 \cdot 10^7$.

2. Наибольшая погрешность в осредненных скоростях имеет место в логарифмической зоне турбулентного ядра и наименьшая — в параболической.

3. Погрешность константы Кармана, определенной по опытным значениям осредненных скоростей, колеблется в очень большом диапазоне (от -220 до +350 %). Колебания носят неупорядоченный характер. Наибольшие погрешности наблюдаются в зоне логарифмического распределения скоростей.

4. Не имеет никакого смысла использовать полученные данные для внесения каких-либо корректив в константу Кармана, так как при принятом фундаментальном ее значении ($k = 0,4$) приведенная формула обеспечивает высокую точность расчета распределения скоростей. По-видимому, передаточная функция, связывающая погрешности осредненных

скоростей и константы Кармана, имеет сложный и, возможно, стохастический характер.

Вернемся к вопросу об утверждении авторов [4] о том, что в их опытах было обеспечено наличие гладкостенной зоны сопротивления. В [4] приведено значение Δ^+ при числе Рейнольдса Re_d , равном 35 259 000. Оно оказалось $\Delta^+ = 3,5 \pm 0,7$. Ссылаясь на Г. Шлихтинга [5], который, как и подавляющее число исследователей, полагает, что гладкостенная зона сопротивления имеет место при условии $\Delta^+ \leq 5$, М. Загарола и сделал указанное заключение. Однако у А. Таунсенда [6] указано, что должно выполняться более жесткое условие $-\Delta^+ \leq 1$ (!). Автор подверг это расхождение специальному анализу и показал с помощью вычислительного эксперимента, что условие $\Delta^+ \leq 5$ приводит к недопустимым погрешностям (не в запас прочности!) порядка $30 \div 15$ %; даже при условии $\Delta^+ \leq 1$ — $10 \div 5$ %. С ростом числа Рейнольдса погрешность уменьшается.

Покажем, что, например, при числе Рейнольдса $Re_d = 35\,259\,000$ в опытах М. Загаролы зона сопротивления не была гладкостенной. С этой целью используем значение Δ^+ , указанное М. Загаролой, и по

связи $\frac{\Delta}{r} = \frac{2\Delta^+V^+}{Re_d}$ найдем, что при условиях анализируемых опытов

$$\frac{\Delta}{r} = \frac{2 \cdot 3,5 \cdot 33,67}{35\,259\,000} = 0,0000067.$$

Примем для расчетов дополнительно также и вдвое меньшее значение $\frac{\Delta}{r} = 0,0000034$. Результаты приведены в табл. 4.

Простейшее рассмотрение данных табл. 3 и 4 для значения $Re_d = 35\,259\,000$ приводит к следующему выводу: вопреки тому, что объявленное значение Δ^+ удовлетворяло условию $\Delta < 5$, учет влияния относительной шероховатости дает намного лучшие результаты. Это относится как к расчетным значениям осредненных скоростей (отклонения их от опытных не превышают 4 %), так и к опытным значениям константы Кармана, которые отличаются от фундаментального значения $k = 0,4$ не более чем на 2 %. При условии $\Delta = 0$ они достигают 5 и 10 % соответственно.

Этот факт, с одной стороны, показывает, что предложенный в [1] метод расчета распределения осредненных скоростей дает прекрасные результаты и при очень высоких значениях чисел Рейнольдса, а с другой — свидетельствует об отсутствии гладкостенной зоны сопротивления в опытах М. Загаролы [4]. Следует присоединиться к критикам результатов обработки им опытных данных при высоких числах Рейнольдса, которые преподносятся в [7] как уточнение формул для коэффициента Дарси при гладкостенном сопротивлении. На самом же деле авторы [7] фактически для частного случая учли влияние относительной шероховатости без учета ее значения, что не имеет смысла. В [8] получено условие, при котором погрешностью, не превышающей 5 % при определении коэффициента Дарси, должно быть $\Delta^+ < 1,3$. В опытах М. Загаролы это условие не выполняется.

Следует восстановить статус формулы Кольбука, работающей и при высоких числах Рейнольдса [9]. Сопоставление данных табл. 3 и 4 для того же значения числа Рейнольдса, но при относительной шероховатости $\frac{\Delta}{r} = 0,0000034$, т.е. вдвое меньшей, чем указано М. Загаролой, приводит к выводу о еще лучшем совпадении расчетных и опытных данных. Это означает, что относительная шероховатость при значении $\Delta^+ = 1,8$ продолжает влиять на распределение скоростей.

Кстати, отметим, что значение $\Delta^+ = 1,8$ можно трактовать как эквивалентную шероховатость $\Delta_s^+ = 1,8$, которая соответствует среднеквадратичному ее значению $\Delta^+ = 3,5$.

Распространим продемонстрированную выше методику выявления существования зависимости вариабельности константы Кармана от погрешности, допускаемой при определении расчетных значений по тем или иным формулам, на случай погранслойных течений при нулевом градиенте давления. Для течений в круглых трубах выше было установлено, что указанная вариабельность имеет полустохастический характер. В точках, где расхождение расчета с опытом мало, отклонение константы Кармана от фундаментального ее значения $k = 0,4$ также достаточно мало. Но при небольшом ее возрастании опытное значение k разительно меняется.

Используем экспериментальные данные Дж. Остерлунда [3]. Повторяя ту же методику и на базе той же универсальной формулы для распределения скоростей [1], после проведения вычислительного эксперимента сведем полученные результаты в табл. 5, 6 для последующего анализа. Для определения значения константы Кармана $k_{оп}$ по опытным значениям скорости $u_{оп}^+$ используем формулы (5) и (6), что и в случае течений в круглых трубах.

Таблица 6

Re _с = 4811; $\delta/\delta_{ст} = 66,43$; A = 0,1218; a = 72,42; $u_{ст}^+ = 16,08$						Re _с = 7656; $\delta/\delta_{ст} = 105,8$; A = 0,1216; a = 72,33; $u_{ст}^+ = 16,08$					
y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%	y^+	$u_{оп}^+$	$u_{расч}^+$	%	$k_{оп}$	%
81,36	15,693	16,33	4,1	-0,296	-173	73,28	15,615	16,10	3,0	-0,028	-107
99,71	16,192	16,86	4,3	3,416	754	90,75	16,123	16,62	3,1	5,220	120
226,58	18,207	18,84	3,5	0,521	27,8	214,86	18,315	18,74	2,3	0,479	19,8
417,38	19,811	20,26	2,3	0,450	25,0	406,13	19,964	20,27	1,5	0,433	8,2
770,18	21,475	21,70	1,0	0,418	4,5	763,61	21,620	21,72	0,5	0,409	2,2
1157,22	22,687	23,03	1,5	0,421	5,2	1162,1	22,735	22,71	-0,1	0,400	0,0
2131,59	26,112	25,76	-1,3	0,387	-3,2	2179,9	24,687	24,82	0,5	0,408	2,0
3202,56	27,229	27,80	2,1	0,421	5,2	3314,3	26,415	26,80	1,7	0,415	3,8
3925,59	28,299	28,60	1,1	0,410	2,5	4086,4	27,412	27,87	1,7	0,417	4,2
4811,75	28,981	28,97	-0,4	0,399	-0,2	5038,2	28,449	28,90	1,6	0,417	4,2
						6211,7	29,461	29,74	1,0	0,409	2,2
						7656,1	30,140	30,13	0,0	0,399	0,2

Рассмотрение материалов, приведенных в табл. 5, 6, позволяет еще раз отметить отличное совпадение расчетных данных, полученных по универсальной формуле, предложенной в [1], с опытными данными Дж. Остерлунда [3].

Результаты и в этом случае совпадают с результатами, полученными в случае течения в круглых трубах (см. табл. 2–4), т.е. налицо отсутствие видимой связи погрешностей, соответствующих расчету скоростей, с погрешностями в значении константы Кармана, определенной по опытному значению скорости. Так же как и в случае круглых труб, гораздо худшие результаты находятся в зоне логарифмического распределения скоростей.

Выводы. 1. Прежде всего отметим дополнительно полученные данные об отличном совпадении расчетных показателей, найденных при использовании универсальной формулы для определения осредненных скоростей, предложенной в [1], которая не содержит ни одного поправочного коэффициента. Она справедлива как для течений в круглых трубах, так и в плоских потоках и пограничных слоях при нулевом градиенте давления. Ее применение дает возможность заменить все существующие в настоящее время формулы для всех зон сопротивления.

2. Подвергаемая широкому обсуждению вариабельность константы Кармана построена на неприемлемой методике. В статье показано на основе вычислительного эксперимента отсутствие регулярной связи между расхождением расчетного и опытного значений осредненной скорости и соответствующим опытной скорости значением константы Кармана. Поэтому прямая или с применением регрессионного анализа оценка вариабельности константы Кармана неприемлема.

3. Предлагается навсегда закрепить за константой Кармана статус фундаментальной константы Кармана.

4. Подтверждена справедливость критики условий опытов М. Загаролы и др. [4] в связи с отсутствием выполнения требований к обеспечению гладкостенной зоны сопротивления.

5. Уточненная М. Загаролой формула для коэффициента Дарси не имеет смысла в связи с положением, изложенным в п. 4, так как представляет собой удачный, но ненужный учет влияния частной относительной шероховатости при числе $Re_d = 35\,259\,000$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Высоцкий, Л.И. Продольно-однородные осредненные турбулентные потоки [Текст] / Л.И. Высоцкий, И.С. Высоцкий. — Саратов: СГТУ, 2011. — 560 с.
2. Zagarola, M.V. <http://www.orinceton.edu/~gasdvn1/>.
3. Osterlund, J.M. Measurements in a flat plate turbulent boundary layer [Текст] / J.M. Osterlund, A.V. Johansson // Turbulence shear-flow phenomena 1. TSFP-1. — Santa Barbara, USA, 1999. — 6 p.
4. Zagarola, M.V. Mean — flow scaling of turbulent pipe flow [Текст] / M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 1998. — Vol. 373. — P. 33–79.
5. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя [Текст] / Г. Шлихтинг. — М. : Наука, 1974. — 712 с.
6. Таунсенд, А.А. Структура турбулентного потока с поперечным сдвигом [Текст] / А.А. Таунсенд. — М. : Иностр. лит., 1959. — 400 с.

7. McKeon, B.J. A new friction factor relationship for fully developed pipe flow [Текст] / B.J. McKeon, M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 538. — P. 429–443.
8. Высоцкий, Л.И. Что же такое «зона гладкостенного сопротивления»? [Текст] / Л.И. Высоцкий // Совершенствование методов гидравлических расчетов водопропускных и очистных сооружений: Межвуз. науч. сб. — Саратов: СГТУ, 2015. — С. 26–36.
9. Colebrook, C.F. Turbulence flow in pipes with particular reference to the transition region between the smooth and rough pipe lines [Текст] / C.F. Colebrook // Journal of Institute of Civil Engineering. — 1939. — № 11. — P. 133–156.

ВЫСОЦКИЙ Лев Ильич, д-р техн. наук, проф.

Саратовский государственный технический университет им. Ю.А. Гагарина

Получено 02.06.15

Vysotskiy Lev Ilich, doctor of technical sciences, professor; Saratov State Technical University, Russia

ABOUT CONSTANT KARMAN

Part II

In the second part of article the stochasticity of the relationship of dependence of the errors in the determination of experimental values of the constants of the Karman by experienced averaged values of velocities that can not use the traditional technique to establish the variability of the constants of the Karman.

Key words: constant of the Karman, Reynolds number, mean velocity, models of turbulent flows.

REFERENCES

1. Vysotskiy, L.I. Longitudinally-averaged homogeneous turbulent flows [Text] / L.I. Vysotskiy, I.S. Vysotskiy. — Saratov: SSTU, 2011. — 560 p.
2. Zagarola, M.V. <http://www.orinceton.edu/~gasdvn1/>.
3. Osterlund, J.M. Measurements in a flat plate turbulent boundary layer [Text] / J.M. Osterlund, A.V. Johansson // Turbulence shear-flow phenomena 1. TSFP-1. — Santa Barbara, USA, 1999. — 6 p.
4. Zagarola, M.V. Mean — flow scaling of turbulent pipe flow [Text] / M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 1998. — Vol. 373. — P. 33–79.
5. Slichting, G. Boundary layer theory [Text] / G. Slichting. — M.: Nauka, 1974. — 712 p.
6. Townsend, A.A. The structure of a turbulent flow with the shear [Text] / A.A. Townsend. — M.: Foreign literature, 1959. — 400 p.
7. McKeon, B.J. A new friction factor relationship for fully developed pipe flow [Text] / B.J. McKeon, M.V. Zagarola, A.J. Smits // J. Fluid Mech. — 2005. — Vol. 538. — P. 429–443.
8. Vysotskiy, L.I. What is a «zone solid wall of resistance»? [Text] / L.I. Vysotskiy // Improved methods of culvert hydraulic calculations and water treatment facilities: Intercollege scientific. sat. — Saratov: SSTU, 2015. — P. 26–36.
9. Colebrook, C.F. Turbulence flow in pipes with particular Reference to the transition region between the smooth and rough pipe lines [Text] / C.F. Colebrook // Journal of Institute of Civil Engineering. — 1939. — N 11. — P. 133–156.

УДК 628.152.001

Е.М. ГАЛЬПЕРИН

УСТАНОВЛЕНИЕ СОСТАВА И КОЛИЧЕСТВА ПОКАЗАТЕЛЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ

Каждому состоянию системы подачи и распределения воды (СПРВ) соответствует свое потокораспределение, которое описывается известной системой уравнений. Часть этих уравнений, выражающих баланс расходов в узлах, представляется совместной однородной неопределенной системой линейных уравнений, в которой отражены все переменные величины, описывающие потокораспределение в СПРВ. Ее анализ позволяет выделить зависимые переменные, значения которых получают решением системы уравнений, описывающих потокораспределение в СПРВ, и независимые переменные, которые вносятся в систему извне, т.е. измерениями в рассчитываемой системе или получаемые каким-либо другим образом. В результате проведенного анализа определяем объем и состав исходных данных о состоянии СПРВ, что позволяет сделать четкими постановку ряда практических задач, таких как установление мест измерений параметров функционирования в существующей СПРВ при создании ее модели, идентификацию модели и т.д.

Ключевые слова: потокораспределение в СПРВ, объем и состав исходной информации, зависимые и независимые параметры, анализ информации о СПРВ, определение мест измерений в объекте.

Система подачи и распределения воды (СПРВ) включает в себя водопроводную сеть и водопитатели (насосные станции и емкости). Способами задания условий работы водопитателей являются:

- сосредоточенный расход Q ;
- напор H (или пьезометрическая высота Π);
- рабочая характеристика Q – H насосных агрегатов.

Характеристику системы насос–сеть можно представить следующим образом:

$$\Pi_t = \Pi_t^0 - S_{st} Q_t^2, \quad (1)$$

где Π_t — пьезометрическая высота, соответствующая напору при выходе из t -й насосной станции;

Π_t^0 — пьезометрическая высота, соответствующая напору насосов t -й насосной станции при подаче, равной нулю, т.е. $Q_t = 0$;

Q_t — подача t -й насосной станции;

S_{st} — эквивалентное гидравлическое сопротивление насосных агрегатов t -й насосной станции.

Под нефиксированными узловыми расходами (отборами) имеются в виду узловые расходы, являющиеся функциями действующих в узлах свободных напоров. Строго говоря, фиксированного узлового отбора, т.е. такого, величина которого не зависит от напора в узле, при свободном истечении воды из отверстия в природе не существует. Как известно из гидравлики, при истечении воды из отверстия величина расхода является функцией напора. Однако в коммунальном водопроводе предполагается,

что при отборе воды население пользуется водоразборной арматурой и дросселирует поток, расходуя необходимое количество воды независимо от напора в сети при условии, что напор достаточный. Это предположение является основанием при использовании фиксированных узловых отборов для расчета городских водопроводных сетей, что существенно упрощает их расчет. Таким образом, узловой расход в i -м узле при отборе воды населением может быть представлен в виде функции

$$a_i = \begin{cases} a_{\text{фикс}_i}, & \text{если } H_{p_i} \geq H_{\text{тр}_i}; \\ a_{\text{фикс}_i} \sqrt{\frac{H_p}{H_{\text{тр}}}}, & \text{если } C < H_{p_i} < H_{\text{тр}_i}; \\ 0, & \text{если } H_{p_i} \leq C, \end{cases} \quad (2)$$

где H_{p_i} и $H_{\text{тр}_i}$ — расчетный и минимально требуемый напоры в i -м узле;
 $a_{\text{фикс}_i}$ — фиксированный узловой отбор в i -м узле;
 C — величина свободного напора в сети, при которой и ниже которой отбор воды невозможен.

Следует отметить, что утверждение $a_i = a_{\text{фикс}_i}$, если $H_{p_i} \geq H_{\text{тр}_i}$, не совсем правильное, так как с увеличением расчетного давления H_p по сравнению с минимально требуемым ($H_{\text{тр}}$) возрастают утечки в сети, и расход воды увеличивается в среднем на 6–15 % на каждые 10 м излишнего напора.

Представление узлового расхода через выражение (2) не является единственно возможным. Могут быть использованы функции другого вида, часть узлового расхода может выступать как фиксированный, а остальная часть — как нефиксированный узловой отбор и т.д. Например, в узле при $H_{p_i} \geq H_{\text{тр}_i}$ вода расходуется населением ($a_{\text{фикс}_i}$) и поступает на предприятие в приемный резервуар или в гальваническую ванну.

При гидравлическом расчете совместной работы водопроводной сети и водопитателей, условия которых заданы характеристикой насосов Q – H или напором (H), а также с нефиксированными узловыми отборами, используется прием так называемой фиктивной линии. Фиктивная линия мысленно соединяет узел, в котором расположен базисный водопитатель, и узел, в котором расположен водопитатель, условия работы которого заданы характеристикой насосов Q – H или напором H , либо расположен нефиксированный узловой отбор. Базисным назван водопитатель, который соединен фиктивными линиями со всеми другими водопитателями, условия работы которых заданы характеристикой насосов Q – H или напором H , либо с узлами, в которых располагаются нефиксированные отборы. Каждая воображаемая фиктивная линия, которой фактически нет, образует фиктивный контур или кольцо.

Как очевидно из выражения (2), фактически нефиксированный узловой отбор имеет место, если $C < H_{p_i} < H_{\text{тр}_i}$, в этом случае из i -го узла по фиктивной линии в сторону базисного узла направляется нефиксированный узловой расход $a_{\text{нефикс}_i} = a_{\text{фикс}_i} \sqrt{\frac{H_{p_i}}{H_{\text{тр}_i}}}$, величина кото-

рого определяется значением свободного напора в i -м узле H_{Pi} (или вообразаемыми потерями напора в фиктивной линии $h_{\phi} = H_{Pi}$). Другими словами, $a_{\text{нефикс}_i}^2 = a_{\text{фикс}_i}^2 \frac{H_{Pi}}{H_{\text{Тр}_i}}$ или $H_{Pi} = h_{\phi} = \frac{H_{\text{Тр}_i}}{a_{\text{фикс}_i}^2} a_{\text{нефикс}_i}^2$. Учитывая, что

$\frac{H_{\text{Тр}_i}}{a_{\text{фикс}_i}^2} = \text{const}$ для i -го узла, и обозначая $\frac{H_{\text{Тр}_i}}{a_{\text{фикс}_i}^2}$ через $S_{\text{узл}_i}$, окончательно

получим

$$h_{\phi} = S_{\text{узл}_i} a_{\text{нефикс}_i}^2. \quad (2a)$$

Распределение воды по трубопроводной системе осуществляется в соответствии с I и II законами Кирхгофа и описывается уравнениями следующих видов:

$$\sum q - a_i + Q_t = 0, \quad (3)$$

$$\sum h_j = \sum \text{sgn} q_j S_j q_j^{\beta} = 0, \quad (4)$$

$$\sum \text{sgn} q_j S_j q_j^{\beta} - \text{sgn} Q_t S_{\text{эт}} Q_t^{\beta} + \text{sgn} \left(\sum_1^m a_i - Q_t \right) S_{\text{эт}-1} \left(\sum_1^m a_i - Q_t \right)^{\beta} + \Delta \Pi^0 = 0, \quad (5)$$

$$\sum \text{sgn} q_j S_j q_j^{\beta} + \text{sgn} Q_t S_{\text{эт}} Q_t^{\beta} + S_{\text{узл}_i} a_{\text{нефикс}_i}^2 - \Delta = 0, \quad (6)$$

где q_j и h_j — расходы и потери напора в линиях сети ($j = 1 \dots n$, где n — число линий сети);

a_i — узловый отбор в узле i ($i = 1 \dots m$, где m — число узлов сети);

Q_t — величина подачи воды от t -го водопитателя ($t = 1 \dots u$, где u — число водопитателей системы);

$\text{sgn} q_j$ — функция, которая определяется равенством

$$\left. \begin{aligned} \text{sgn} q_j &= 1 \quad \text{при } q_j > 0 \\ \text{sgn} q_j &= 0 \quad \text{при } q_j = 0 \\ \text{sgn} q_j &= -1 \quad \text{при } q_j < 0 \end{aligned} \right\},$$

S_j — гидравлическое сопротивление j -й линии;

$$\Delta = \Pi_{\text{эб}}^0 - \Pi_{\text{min}}; \quad \Delta \Pi^0 = \Pi_{\text{эб}}^0 - \Pi_t^0; \quad \Pi_{\text{min}} = Z_i + C,$$

$\Pi_{\text{эб}}^0$ — пьезометрическая высота, соответствующая напору насосов базисного водопитателя при подаче, равной нулю, т.е. $Q_{\text{эб}} = 0$;

Z_i — отметка земли i -го узла.

Число уравнений вида (3) равно числу узлов сети — m , вида (4) — числу колец водопроводной сети, вида (5) — числу водопитателей, заданных характеристикой — f , $0 \leq f \leq u - 1$, вида (6) — числу нефиксированных узловых отборов — F , где $0 \leq F \leq m$. Уравнения вида (4)–(6) являются нелинейными, каждому уравнению этого вида соответствует замкнутый контур в системе. В связи с тем, что контуров, описываемых уравнениями (5)–(6), фактически нет, их называют фиктивными. Однако это несущественно при математическом анализе системы, содержащей уравнения вида (3)–(6). Поэтому в дальнейшем систему, содержащую

хотя бы одно нелинейное уравнение вида (4)–(6), будем называть кольцевой или имеющей замкнутые контуры.

В зависимости от конкретной системы водоснабжения потокораспределение в ней может описываться уравнениями всех четырех видов или только некоторыми из них.

Если кольцевая сеть снабжается водой из нескольких водопитателей, условия работы которых заданы характеристиками, и в сети имеются нефиксированные узловые отборы, то для описания распределения воды в ней потребуются уравнения всех четырех видов.

Если же распределение воды описывается в кольцевой сети с одним водопитателем и отсутствуют нефиксированные узловые отборы, то потребуются уравнения вида (3) и (4).

Описание потокораспределения в разветвленной сети с фиксированными узловыми отборами и несколькими водопитателями (двумя и более), условия работы которых заданы характеристиками, потребует уравнения вида (3) и (5).

Если же в разветвленной сети, кроме того, имеются нефиксированные узловые отборы, то потокораспределение в ней будет описываться уравнениями вида (3), (5), (6).

В разветвленной сети с одним водопитателем и нефиксированными узловыми отборами распределение воды описывается уравнениями вида (3) и (6).

В разветвленных сетях с одним водопитателем и только фиксированными узловыми отборами во всех узлах для описания распределения воды достаточно уравнения вида (3).

Очевидно, что во всех случаях участвуют уравнения вида (3). В уравнениях вида (3) входят узловые отборы, расходы в участках и подача воды от водопитателей, т.е. на все переменные величины системы (3)–(6).

Система уравнений (3) представляет собой неопределенную систему совместных однородных линейных уравнений вида:

$$b_{i_1} x_1 + b_{i_2} x_2 + \dots + b_{i_\ell} x_\ell = 0; \quad i = 1 \dots m, \quad (3a)$$

где m — количество узлов сети (число строк системы уравнений);

ℓ — число неизвестных, равное $n + m + u$.

Каждая строка системы (3a) выражает баланс расходов в узле и $b_{ij} = +1$, если расход направлен к узлу, и $b_{ij} = -1$, если расход выходит из узла, и $b_{ij} = 0$, если расход не связан с данным узлом i . Ранг матрицы B из коэффициентов уравнений (3a) $r = m$ меньше числа неизвестных $\ell = n + m + u$, и уравнения (3a) имеют фундаментальную систему $\ell - r$ линейно независимых решений.

Все переменные в неопределенной системе уравнений вида (3a) разделены на свободные **независимые**, значения которых вносятся в уравнение извне, и **зависимые**, которые получаются в результате решения.

Независимые переменные могут быть определены различным путем. Это может быть узловой отбор, который вычисляется известным способом, зная плотность населения, норму водопотребления и начертание водопроводной сети или в качестве узлового отбора принято количество воды, отбираемой крупным водопотребителем по показателям установ-

уравнений вида (3а) для водопроводной системы, изображенной на рисунке, имеет следующий вид:

$$\left. \begin{array}{rcccccccc} q_1 & & & & +q_5 & -a_1 & & & = 0 \\ & q_2 & & & +q_4 & & -a_2 & & = 0 \\ & & -q_3 & -q_4 & -q_5 & & & -a_3 & = 0 \\ -q_1 & -q_2 & -q_3 & & & & & & -a_4 + Q = 0 \end{array} \right\} \quad (8)$$

Приведенная система уравнений (8) является совместной, так как она однородная. Составим матрицу В из коэффициентов при неизвестных системы (8).

$$\left\| \begin{array}{cccccccccc} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \end{array} \right\| \quad (8a)$$

$$\left\| \begin{array}{cccccccccc} 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right\| \quad (8б)$$

В результате элементарных преобразований матрица (8а) преобразована в эквивалентную ей матрицу (8б). Эти элементарные преобразования следующие:

- меняются местами 1-я и 4-я строчки (выражают связь в узлах);
- меняются местами 1-й (q_1) и 10-й (Q) столбцы;
- меняются местами 4-й (q_4) и 5-й (q_5) столбцы.

Зависимые неизвестные, коэффициенты которых составляют минор в левом верхнем узле матрицы (8б), являются Q , q_2 , q_3 и q_5 (соответствующие участки составляют «дерево» сети), независимые неизвестные q_4 и q_1 определяются решением уравнения вида (4), остальные независимые свободные (a_1, \dots, a_4) и могут принимать любые значения. Естественно, могут быть выполнены другие элементарные преобразования матрицы (8а) и получен другой состав зависимых и независимых переменных.

Такое рассмотрение задачи позволяет определить, в зависимости от конкретных условий, P входных параметров, которые должны быть введены в модель как исходные данные. Ими могут быть:

- узловые отборы a_i (обозначим число заданных узловых отборов через c : $0 \leq c \leq m$);
- расходы в участках q_j (обозначим число заданных расходов в участках через s : $0 \leq s \leq m - 1$);
- подачи от водопитателей Q_t (обозначим число заданных подач водопитателей через e : $0 \leq e \leq u$).

В общем случае

$$P = c + s + e.$$

В результате решения системы уравнений (3)–(6) определяются значения $m - c$ узловых отборов, $n - s$ расходов в участках и $u - e$ подач водопитателей. Для рассматриваемого случая, когда в системе один водопитатель ($u = 1$, т.е. $f = 0$) и отсутствуют нефиксированные узловые отборы, $P = c + s + e = 4$; $c = 4$; $s = 0$; $e = 0$. Очевидно, что если $c = m$, то имеет место гидравлический расчет при заданных узловых отборах во всех узлах сети. Это обычно наиболее распространенная задача, решаемая при гидравлическом расчете системы водоснабжения.

Формулировка требований к объему и составу исходной информации позволяет более четко поставить ряд задач, представляющих практический интерес.

Рассмотрим задачу моделирования действующей водопроводной системы. Исходная информация должна быть введена в модель в количестве $P = m + u - f - F - 1 = c + s + e$ параметров. Задача состоит в том, чтобы на основе анализа моделируемой системы определить P параметров, которые могут быть измерены в существующей системе. Например, узловые расходы, связанные с отбором воды крупными потребителями, имеющими расходомерные устройства, могут быть измерены и введены в модель как величины a_i . Количество таких параметров составит величину c .

Расходомеры на участках водопроводной сети с относительно постоянными расходами (водоводы и крупные магистрали) дадут сведения о расходах в линиях, которые должны быть введены в модель как исходные в количестве s .

Подача воды водопитателями может быть измерена водомерами на выходе из водопитателей. В этом случае условия работы водопитателей будут введены в модель в виде сосредоточенных расходов Q или как отрицательные узловые отборы в узлах, в которые подают воду водопитатели. Условия работы насосной станции могут быть заданы рабочей характеристикой $Q-H$ в виде параболы (1) или пьезометрической высотой (при $S_{\text{эт}} = 0$ в выражении (1)) через уравнение (5). Последнее относится и к емкостям. Число тем или иным образом заданных условий работы водопитателей, введенных в модель в качестве исходных данных, составляет величину e .

Если окажется, что $c + s + e < P$, то следует наметить меры по получению из моделируемой системы недостающих исходных данных. Естественно, эти данные должны быть из совокупности свободных независимых переменных, которые не входят в минор совместных однородных неопределенных линейных уравнений вида (3а).

Узловые отборы, к которым в практических расчетах приводят многочисленные мелкие сосредоточенные отборы, невозможно измерить фактически. Решая систему уравнений потокораспределения, которая состоит из выражений вида (3)–(6), можно вычислить такой узловой отбор, представив его в качестве зависимой переменной. Например, в рассматриваемой сети (см. рисунок) переменной мест в матрице (8б) столбцов 3 и 8 в число определяемых величин перенесен узловой отбор a_3 , а в число заданных — расход в участке q_3 , который может быть измерен в сети. Если известен характер изменения расхода q_3 , можно установить режим изменения узлового отбора a_2 , т.е. построить функцию $a_i = f(q_j)$.

Важным вопросом является идентичность объекта и модели. Успешное его решение в значительной степени зависит от качества исходных данных. В частности, в процессе эксплуатации возможно изменение гидравлических сопротивлений труб.

При расчетах сети представляется возможность выделить те районы, в которых принятые значения гидравлических сопротивлений труб требуют уточнения. Например, расходы в линиях 1, 3 и 5 (см. рисунок) не могут быть заданы одновременно. В качестве исходных данных используются только два из трех расходов названных линий. Расход третьей линии будет получен в результате решения системы уравнений потокораспределения вида (3) и (4). При этом может быть два случая:

1. Измеренные в сети и полученные в результате расчета значения расходов равны или отличаются в допустимых пределах.
2. Измеренные в сети и полученные в результате решения значения расходов существенно отличаются друг от друга.

В первом случае исходные данные правильно отображают состояние системы, во втором — требуются их уточнение и корректировка. В частности, гидравлическая характеристика сети может быть определена, если заданы сосредоточенные узловы отборы и пьезометрические высоты во всех m узлах и расходы в k так называемой независимой линии (т.е. линии, удаление которой уменьшает на единицу число замкнутых контуров).

Выводы. 1. Используя положения линейной алгебры, предложена процедура разделения переменных параметров на зависимые величины, которые получаются в результате решения задачи потокораспределения СПРВ, и независимые, которые вводятся в систему уравнений извне.

2. Предложенная процедура позволяет сформулировать требования к объему и составу исходной информации и решить:

- моделирование существующей СПРВ;
- нахождение значения узлового отбора, величину которого нельзя измерить в существующей СПРВ, и установить режим его изменения;
- произвести идентификацию характеристики существующей СПРВ и ее модели.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мишина, А.П. Высшая алгебра [Текст] / А.П. Мишина, И.В. Проскуряков. — М.: Наука, 1965.

*ГАЛЬПЕРИН Евгений Моисеевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail: evg-galperin@yandex.ru
Самарский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено после доработки 04.06.15

Galperin Evgeny Moiseevich, candidate of technical sciences, professor; E-mail: evg-galperin@yandex.ru, Samara State Architecture and Construction University, Russia

COMPOSITION AND VOLUME OF INDICATORS DETERMINE THE CONDITION OF FLUX DISTRIBUTION OF WATER SYSTEM

Each state of the water system meets its flux distribution which is described by the famous equation system. Part of these equations expressing the balance of demand of water at the nodes represented by the joint homogeneous indefinite system of linear equations which

reflect all the variables describing flux distribution the water system. Its analysis allows to highlighting the dependent variables, the values of which are obtained by solving the system of equations describing flux distribution in the water system, and the independent variables, which are entered into the system from outside, i.e. measurements in modeled system or get any other way. This analysis allows determination the volume and composition of baseline data of the condition of water system and makes a clear defining of practical tasks, such as establishing of place for measurement of parameters in an existing water system when creating its model, identification the model and so on.

Key words: flux distribution in the water system, the volume and composition of the baseline information, dependent and independent parameters, analysis of informationon system of giving and distribution of water, definition of places of changes in object.

REFERENCES

1. Mishina, A.P. Higher algebra [Text] / A.P. Mishina, I.V. Proskuriakov. — М. : Nauka, 1965.

УДК 691:620.179.14

**Ю.С. САРКИСОВ, Н.П. ГОРЛЕНКО, В.Н. САФРОНОВ,
С.А. КУГАЕВСКАЯ****ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ
НА СВОЙСТВА ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ**

В работе рассмотрено влияние магнитных полей на свойства дисперсных систем. Показано, что в зависимости от числа циклов магнитной обработки жидкости затворения наблюдаются изменения в УФ-спектрах воды, возникновение фрактальных структур при кристаллизации неорганических солей из водных растворов, что указывает на переход воды в активированное состояние. Как следствие, улучшаются структурно-механические характеристики цементного камня по сравнению с контрольными образцами.

К л ю ч е в ы е с л о в а: дисперсные системы, магнитное поле, цемент, прочность, кристаллизация.

Влияние магнитного поля на свойства и поведение живых и неживых систем известно с самых древних времен. Алхимики еще в XIII в. установили, что магнитное поле может воздействовать на воду, изменяя ее свойства.

Из научно-технической и патентной литературы известно, что магнитная обработка воды впервые была запатентована в 1890 г. англичанином Джоном Булем. На самом деле она применялась с незапамятных времен. Более-менее научный смысл магнитная обработка воды приобретает в трудах бельгийского инженера Т. Вермайера, который в 1946 г. основал фирму «Эпюрекс» для производства аппаратов с постоянными магнитами [1].

Вода, как дисперсионная среда, является наиболее технологически доступным объектом для обработки магнитными полями разной напряженности с различной структурой распределения силовых линий в пространстве и во времени [2]. Надежно установлено, что тип, конструктивные особенности магнитных активаторов и способ воздействия существенно влияют на степень активации воды [3]. Анализ многолетних исследований влияния магнитного поля на свойства дисперсных систем показывает, что эффект воздействия магнитным полем зависит и от исходных свойств самой дисперсной системы. Содержание в воде примесей неорганической и органической природы, наличие растворенных газов, особенно кислорода, различный изотопный состав как по водороду, так и по кислороду, внешние условия обработки (температура, давление, радиация и др.) — в значительной мере определяют способность воды и водных растворов электролитов к формированию результирующего отклика на внешнее воздействие [4].

Показано, что после обработки бидистиллированной воды, протекающей со скоростью 0,6 м/с через магнитное поле (0,655 Тл), вращательные ИК-спектры ее паров изменяются в области 327–323, 282–276 и 111–60 см⁻¹. Авторы предполагают, что эти изменения связаны с образованием пероксида водорода и гидроксидных групп [5].

© Саркисов Ю.С., Горленко Н.П., Сафронов В.Н., Кугаевская С.А., 2015

Необходимо признать, что исследователи, занимающиеся магнитной обработкой воды в различных странах и в разные времена, изучали по сути дела разные объекты — различные виды жидкой воды и водных растворов по исходным физическим, химическим, биологическим и другим параметрам. Очевидно, что стандартизировать характеристики исследуемого объекта, а также условия обработки по всему миру невозможно. Во многом этой причиной объясняется невоспроизводимость экспериментальных данных по магнитной обработке воды. Авторы настоящей работы утверждают, что помимо классической невоспроизводимости существует и фундаментальная невоспроизводимость свойств воды, связанная с необычайной изменчивостью ее структурных характеристик после воздействия даже самых слабых внешних полей и излучений. Можно говорить лишь о вероятности результирующей воспроизводимости экспериментальных данных. Существуют многочисленные факты, доказывающие правомочность таких суждений. Известно [6], что электропроводность жидкой воды, полученной путем конденсации пара, оказывается выше электропроводности воды, полученной изо льда. Изменяются и другие свойства воды, например, рН, окислительно-восстановительный потенциал и др.

Магнитное поле относят к слабым воздействиям, энергия которых намного меньше энергии теплового движения kT при комнатной температуре, равного $2,48$ кДж/моль, что соответствует $4,1 \cdot 10^{-21}$ Дж или $2,2 \cdot 10^{-21}$ эВ в расчете на 1 квант. При частоте поля 100 мГц энергия кванта в расчете на 1 моль приблизительно равна $0,04$ Дж, что во много раз меньше kT [7]. Такие воздействия принято называть информационными, их следует относить к области нелинейной химии. Чем дальше система находится от равновесия, т.е. чем выше нелинейность поведения системы, тем больше вероятность влияния слабых внешних воздействий на свойства дисперсных систем [8].

Однако эти современные представления о природе магнитных полей в настоящее время только формируются. Во многом нет еще четких научных определений характеристик воздействия и откликов системы на эти воздействия. В то же время накопилось достаточно много теоретических и экспериментальных данных как у нас, так и за рубежом, посвященных воздействию магнитного поля на дисперсные системы, особенно на воду и водные растворы электролитов, подтверждающих положительный эффект влияния поля на их поведение [9].

Воздействие магнитного поля на процессы кристаллизации в расплавах и в водных растворах вызывает значимые изменения в структуре образующейся фазы и в кинетике зародышеобразования. Так, действие магнитного поля небольшой напряженности на кристаллизацию металлов из жидкой фазы приводит к увеличению предела текучести и твердости образовавшейся фазы, а при большой напряженности — эффект обратный. При кристаллизации карбоната кальция из водных растворов в условиях действия внешнего магнитного поля формируются кристаллы арагонита и ватерита, а в обычных условиях — кальцита [2, 6, 10].

Образование кристаллических форм проводили в первом случае путем испарения воды на предметном стекле в естественных условиях и при воздействии магнитного поля. Напряженность магнитного поля на поверхности магнитов составляла $0,1$ Тл. Во втором случае образование кристаллов осуществляли с помощью добавления к соли химического реагента, образующего с исходной солью труднорастворимое соединение, с последующим испарением избытка воды при комнатной температуре.

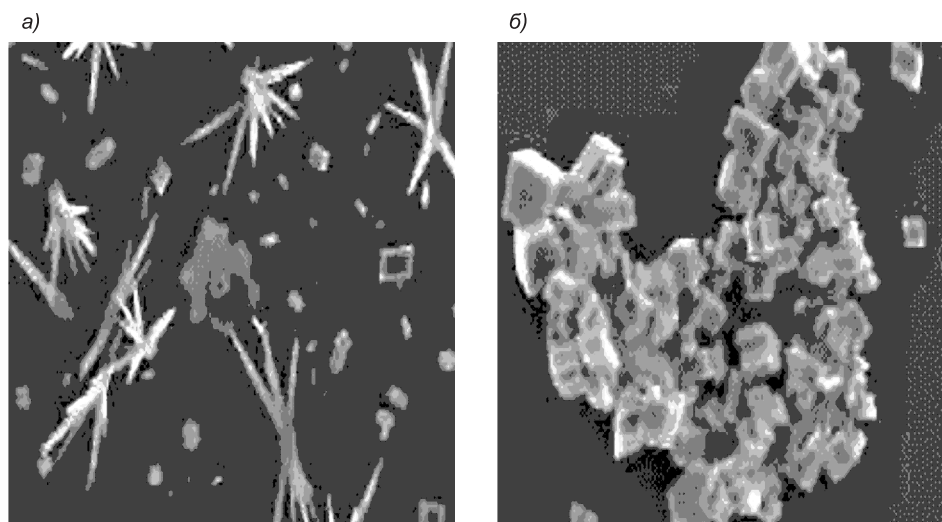


Рис. 1. Кристаллические формы карбоната кальция, полученные из водных растворов
а — в естественных условиях; б — при внешнем воздействии магнитного поля

Отдельные результаты экспериментальных исследований приведены на рис. 1–3.

Как следует из анализа микроскопических снимков, наиболее характерной особенностью поведения кристаллической фазы, полученной методом осаждения или испарения воды, является эффект повышения дисперсности осадка. Кроме того, большинству кристаллических образований свойственно и стремление к однотипности структуры, вследствие фрактальности ее элементов [11].

Другая группа экспериментов связана с использованием предварительно обработанной магнитным полем воды и водных растворов электролита в технологических процессах и особенно в технологии цементных систем. Использование воды, как жидкости затворения строительных смесей, является наиболее технологически доступным, экономически целесообразным, экологически безопасным и энерго-, ресурсосберегающим спо-

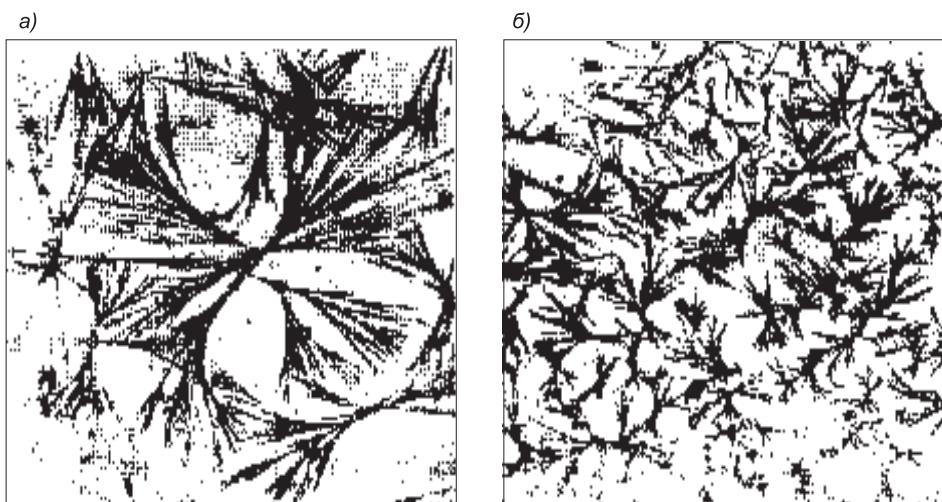


Рис. 2. Кристаллические формы гидроксида меди, полученные из водных растворов
а — в естественных условиях; б — при внешнем воздействии магнитного поля

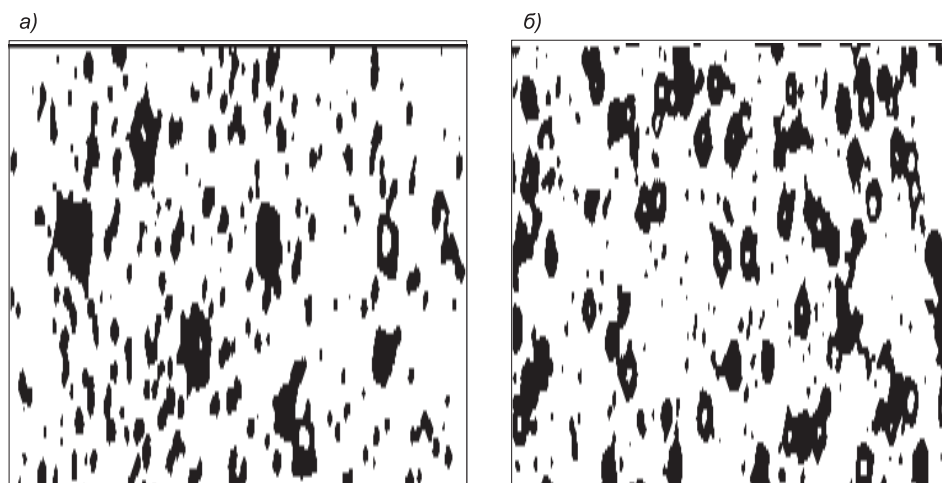


Рис. 3. Кристаллические формы карбоната магния, полученные из водных растворов а — в естественных условиях; б — при внешнем воздействии магнитного поля

собом управления структурой и свойствами цементного камня, строительного раствора, бетонов и сухих строительных смесей.

После обработки магнитным полем воды или водных растворов электролитов и затворения ими цемента (или любой другой вяжущей системы, природного или техногенного происхождения) наблюдаются изменения в рентгено-, дериватограммах, электронно-микроскопических снимках, ИК- и УФ-спектрах и других диаграммах физико-химического метода анализа по сравнению с контрольными, необработанными магнитным полем образцами. В результате повышаются прочность цементного камня и многие другие его эксплуатационные характеристики. По-видимому, это связано с более интенсивным взаимодействием воды с компонентами цементных систем после обработки ее магнитным полем по сравнению с контрольными образцами, не подвергавшимися такому внешнему воздействию.

В настоящей работе установлены закономерности изменения процессов структурообразования и прочностных свойств твердеющих композиций при использовании различных вяжущих, затворенных на воде, активированной по цикловой технологии, с диапазоном водоцементного отношения 0,35–0,45 для всех принятых в работе типов цементов. Магнитная активация проводилась в устройстве обработки жидких сред с индукцией иона в центре, равной 40 мТл, по методике, описанной в работах [12, 13].

В качестве воды затворения принята вода артезианская высшей категории негазированная с активным кислородом (15 мг/л). Содержание основных ионов приведено в таблице.

В качестве минеральных вяжущих в исследованиях использованы ПЦ500-ДО, ПЦ400-ДО, ШПЦ400-ДО (Топкинский завод) и ПЦ400-Д20 (завод «Уралцемент»). Активация воды затворения осуществлялась

Содержание основных ионов в воде

Показатель	Концентрация, мг/л
Кальций Ca^{2+}	30–50
Магний Mg^{2+}	5–30
Калий K^+	2–10
Бикарбонаты HCO_3^-	150–300
Кислород O_2	15
Фторид-ион F^-	0,6–1,2
Общая минерализация	200–400
Общая жесткость, мг-экв/л	2,5–5,0

циклично в диапазоне 25 циклов с шагом 5 циклов. Прочность активированных образцов оценивалась в 28-суточном естественном твердении. Данные эксперимента представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что максимальное значение прочности достигается при 15-кратной обработке жидкости магнитным полем. При этом, впервые установлено, что затворение цемента предварительно обработанной постоянным магнитным полем водой приводит к изменению последовательности формирования фаз, энергии, симметрии и типа кристаллических решеток клинкерных минералов и их кластеров по сравнению с контрольными образцами.

В работе также был проведен анализ состояния дистиллированной воды методом УФ-спектроскопии в исходном состоянии и после 15 и 25 циклов ее обработки магнитным полем. Жидкость затворения после цикловой магнитной обработки приобретает новые свойства. На это указывают данные, представленные на рис. 5, из которого видно, что при обработке дистиллированной воды постоянным магнитным полем значения ее оптической плотности заметно отличаются по сравнению с исходным состоянием.

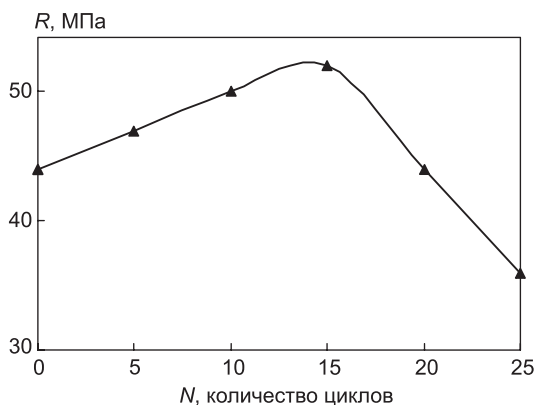


Рис. 4. Зависимость прочности при сжатии цементного камня в возрасте 28 сут (R , МПа) от количества циклов магнитной активации воды (N)

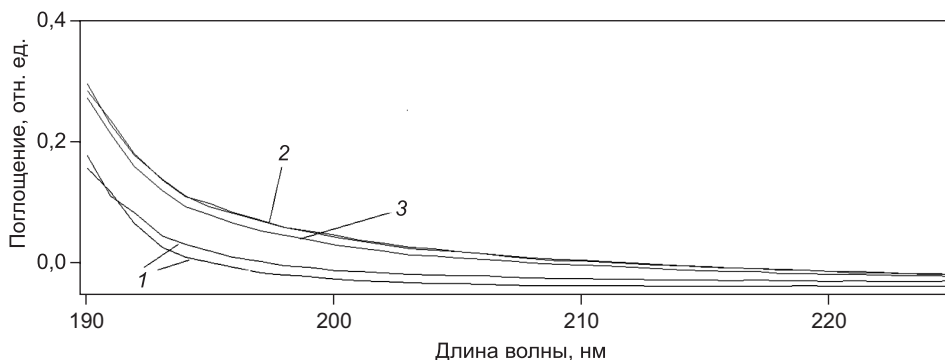


Рис. 5. Спектры УФ-поглощения обработанной магнитным полем дистиллированной воды по сравнению с контролем

1 — контроль; 2 — после 25 циклов обработки; 3 — после 15 циклов обработки

Изменения в ультрафиолетовой области спектра в условиях внешних полей подробно изучались в работе [14]. Различия в УФ-спектрах воды связывают с повышением плотности водородных связей, с изменениями кластерной структуры как по форме, так и по геометрическим размерам образующихся ассоциатов.

Таким образом, эксперименты не только подтверждают влияние слабых магнитных полей на воду и дисперсные системы, но и раскрывают вероятные причины многообразия в различии и невоспроизводимости

сти данных процесса магнитной обработки даже объектов одной и той же природы.

Конечно же, представленная работа не преследует цель внести окончательную ясность в дискуссию мирового характера, а только лишь освещает те или иные аспекты необычайной остроты этой дискуссии вплоть до настоящего времени, указывающей на сложность объекта исследований, на необычность воды как планетарного достояния. Очевидно, потребуются еще немало усилий ученых всего мира для разгадки многих тайн этого прекрасного минерала на нашей планете [15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О ч к о в, В.Ф. Вода и магнит [Текст] / В.Ф. Очков // Водочистка. Водоподготовка. Водоснабжение. — 2011. — № 10. — С. 36–48.
2. Г о р л е н к о, Н.П. Низкоэнергетическая активация дисперсных систем [Текст] / Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов. — Томск : Изд-во Том. гос. архитектурно-строит. ун-та, 2011. — 264 с.
3. Л е т н и к о в, Ф.А. Активированная вода [Текст] / Ф.А. Летников, Т.В. Кашеева, А.Ш. Минцис. — Новосибирск : Наука, 1976. — 135 с.
4. П а с ь к о, О.А. Активированные жидкости, электромагнитные поля и фликер-шум. Их применение в медицине и сельском хозяйстве [Текст] / О.А. Пасько, А.В. Семенов, Г.В. Смирнов, Д.Г. Смирнов. — Томск : Изд-во Том. гос. ун-та систем управления и радиоэлектроники, 2007. — 410 с.
5. М о к р о у с о в, Г.М. Физико-химические процессы в магнитном поле [Текст] / Г.М. Мокроусов, Н.П. Горленко. — Томск : Изд-во Том. гос. ун-та, 1988. — 128 с.
6. Справочник химика 21. Химия и химические технологии. Влияние магнитного поля на структуру и свойства воды. — <http://chem21.info/finfo/1761321>.
7. Б е с с о н о в, А.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства воды [Текст] / А.П. Бессонов, И.Е. Стась // Ползуновский вестник. — 2008. — № 3. — С. 305–309.
8. Т в е р д и с л о в, В.А. Нелинейность как доминанта Природы [Текст] / В.А. Твердислов // Рос. хим. журн. (Рос. хим. о-ва им. Д.И. Менделеева). — 2009. — № 6. — С. 3–27.
9. Г о р л е н к о, Н.П. Магнитное поле как фактор управления свойствами и структурой цементных систем. Ч. 1: Теоретические предпосылки влияния магнитного поля на физико-химические процессы [Текст] / Н.П. Горленко, В.Н. Сафронов, Ю.А. Абзаев, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская // Вестн. ТГАСУ. — 2015. — № 3. — С. 7–15.
10. Б о н д а р е н к о, Н.Ф. Кристаллографический метод диагностики магнетогидродинамической активации водных растворов [Текст] / Н.Ф. Бондаренко, Э.Е. Рохинсон, В.А. Кудряшов и др. // Докл. Рос. акад. с.-х. наук. — 1998. — № 5. — С. 47–48.
11. С м и р н о в, Б.М. Физика фрактальных кластеров [Текст] / Б.М. Смирнов. — М. : Наука, 1991. — 136 с.
12. С а ф р о н о в, В.Н. Цикловая магнитная активация газонаполненных жидких сред затворения цементных систем [Текст] / В.Н. Сафронов, Ю.С. Саркисов, С.А. Кугаевская, Е.И. Цилимова // Вестн. ТГАСУ. — 2009. — № 4. — С. 89–99.
13. С а ф р о н о в, В.Н. Роль цикловой магнитной обработки воды затворения в управлении свойствами и процессами гидратации и структурообразования цементных систем [Текст] / В.Н. Сафронов, Н.П. Горленко, Ю.С. Саркисов, Ю.А. Абзаев, С.А. Кугаевская, Т.А. Ермилова // Вестн. ТГАСУ. — 2014. — № 4. — С. 135–148.
14. К а р я к и н, А.В. Структурные исследования воды по инфракрасным спектрам поглощения [Текст] / А.В. Карякин, Г.А. Кривецова, Н.В. Соболева // Докл. АН СССР. — 1975. — Т. 221. — № 5. — С. 1096–1099.
15. Вода — космическое явление / под. ред. Ю.А. Рахманина, В.К. Кондратова [Текст]. — М. : РАЕН, 2002. — С. 427.

*САРКИСОВ Юрий Сергеевич, д-р техн. наук, проф.; E-mail: sarkisov@tsuab.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
ГОРЛЕНКО Николай Петрович, д-р техн. наук, проф.; E-mail: gorlen52@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
САФРОНОВ Владимир Николаевич, канд. техн. наук, проф.; E-mail:
v.n.safronov@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет
КУГАЕВСКАЯ Софья Александровна, асп.; E-mail:samano@mail.ru
Томский государственный архитектурно-строительный университет*

Получено 02.06.15

Sarkisov Yuriy Sergeevich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: sarkisov@tsuab.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia
Gorlenko Nikolay Petrovich, doctor of technical sciences, professor; E-mail: gorlen52@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia
Safronov Vladimir Nikolaevich, candidate of technical sciences, professor; E-mail: v.n.safronov@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia
Kugaevskaya Sofia Aleksandrovna, post-graduate student; E-mail:samano@mail.ru, Tomsk State University of Architecture and Building, Russia

EFFECT OF MAGNETIC FIELD ON PROPERTIES OF DISPERSE SYSTEMS

The paper presents a study of the effect produced by magnetic fields on the properties of disperse systems. It is shown that depending on the number of cycles of mixing water magnetic activation, the change in ultraviolet spectra of water and the formation of fractal structures are observed during the crystallization of inorganic salts that indicates to the activated state of mixing water. The comparative analysis shows the improvement of morphology and mechanical properties of cement brick.

Key words: disperse systems, magnetic field, cement, hardness, crystallization.

REFERENCES

1. Ochkov V.F. Voda i magnit [Water and magnet]. Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie, 2011, N 10, pp. 36–48.
2. Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S. Nizkoenergeticheskaya aktivatsiya dispersnykh sistem [Low-energy activation of disperse systems]. Tomsk, TSUAB Publ., 2011. 264 p.
3. Letnikov F.A., Kashcheeva T.V., Mintsis A.Sh. Aktivirovannaya voda [Activated water]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1976. 135 p.
4. Pas'ko O.A., Semenov A.V., Smirnov G.V., Smirnov D.G. Aktivirovannye zhidkosti, elektromagnitnye polya i fliker-shum. Ikh primeneniye v meditsine i sel'skom khozyaistve [Activated liquids, electromagnetic fields, and flicker noise. Their medical and agricultural applications]. Tomsk: Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics Publ., 2007. 410 p.
5. Mokrousov G.M., Gorlenko N.P. Fiziko-khimicheskie protsessy v magnitnom pole [Physicochemical processes in magnetic field]. Tomsk: TSU Publ., 1988. 128 p.
6. Spravochnik khimika 21. Khimiya i khimicheskie tekhnologii. Vliyanie magnitnogo polya na strukturu i svoystva vody [Chemist's manual. Chemistry and chemical engineering. Effect of magnetic field on structure and properties of water]. Available at: http://chem21_info/finfo/1761321.
7. Bessonov A.P., Stas' I.E. Vliyanie vysokochastotnogo elektromagnitnogo polya na fiziko-khimicheskie svoystva vody [High-frequency electromagnetic field effect on physicochemical properties of water]. Polzunovskii vestnik, 2008, N 3, pp. 305–309.
8. Tverdislov V.A. Nelineinost' kak dominantanta Prirody [Non-linearity as a dominant of the Nature]. Russian journal of General Chemistry, 2009, N 6, pp. 3–27.

9. Gorlenko N.P., Safronov V.N., Abzaev Yu.A., Sarkisov Yu.S., Kugaevskaya S.A. Magnitnoe pole kak faktor upravleniya svoistvami i strukturoi tsementnykh sistem Chast' 1. Teoreticheskie predposylki vliyaniya magnitnogo polya na fiziko-khimicheskie protsessy [Magnetic field as factor of control for structure and properties of cement systems. Part 1. Theoretical prerequisites for magnetic effect on physicochemical processes]. Vestnik TSUAB, 2015, N 3, pp. 7–15.
10. Bondarenko N.F., E.E. Rokhinson, V.A. Kudryashov, et al. Kristallograficheskii metod diagnostiki magnitogidrodinamicheskoi aktivatsii vodnykh rastvorov [Crystallographic diagnostic technique of magneto-hydrodynamic activation of water solutions]. Russian Agricultural Sciences, 1998, N 5, pp. 47–48.
11. Smirnov B.M. Fizika fraktal'nykh klasterov [Fractal clusters physics]. Moscow: Nauka Publ., 1991. 136 p.
12. Safronov V.N., Sarkisov Yu.S., Kugaevskaya S.A., Tsilimova E.I. Tsiklovaya magnitnaya aktivatsiya gazonapolnennykh zhidkikh sred zatvoreniya tsementnykh sistem [Magnetic activation cycle of gas-filled mixing liquids of cement systems]. Vestnik TSUAB, 2009, N 4, pp. 89–99.
13. Safronov V.N., Gorlenko N.P., Sarkisov Yu.S., Abzaev Yu.A., Kugaevskaya S.A., Ermilova T.A. Rol' tsiklovoi magnitnoi obrabotki vody zatvoreniya v upravlenii svoistvami i protsessami gidratatsii i strukturoobrazovaniya tsementnykh sistem [Mixing water magnetic activation cycle effect on hydration and structure formation of cement systems]. Vestnik TSUAB, 2014, N 4, pp. 135–148.
14. Karyakin A.V., Krivetsova G.A., Soboleva N.V. Strukturnye issledovaniya vody po infrakrasnym spektram pogloshcheniya [Structural investigations of water by infrared absorption spectral]. Proceedings of the USSR Academy of Sciences. 1975, V. 221, N 5, pp. 1096–1099.
15. Rakhmanin Yu.A., Kondratov V.K. Voda — kosmicheskoe yavlenie [Water is a space phenomenon]. Moscow: RAEN Publ., 2002. P. 427.

ВНЕДРЕНИЕ НАУЧНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВО

УДК 628.345

А.Г. ЖУЛИН, О.Д. ЕЛИЗАРОВА

УДАЛЕНИЕ ЖЕЛЕЗА ИЗ САПРОПЕЛЕВЫХ СТОКОВ

Сточные воды грязевых ванн бальнеологических центров, использующих сапропель в лечебных целях, имеют высокие содержания сапропеля, составным компонентом которого является железо в неорганических и органических формах. В стоках концентрация железа может достигать более 200 мг/дм^3 , в то время как отвод таких стоков в общий городской коллектор допускается с содержанием железа не более 5 мг/дм^3 .

Вопросам снижения концентрации сапропеля в сточных водах бальнеологических центров в настоящее время не уделяется достаточного внимания. Проведены исследования по снижению содержания взвешенных веществ и железа в различных его формах в стоке бальнеологического центра «Тараскуль».

По результатам исследований установлены оптимальные дозы реагентов для достижения требуемого эффекта по снижению содержания железа в сточной воде, в обобщенном виде приведены уравнения для расчета доз реагентов в зависимости от ряда показателей.

Ключевые слова: сапропель, железо, стоки, коагулирование, хлориды, расчетные дозы реагентов.

Сапропелевые ванны современная медицина рекомендует для лечения и профилактики ряда заболеваний. В центре реабилитации «Тараскуль» сточные воды от грязевых ванн отводились совместно с хозяйственно-бытовыми в канализационную сеть г. Тюмени. Отводимые стоки по составу идентичны обычным сточным водам населенных пунктов. Показатели, которые могут изменять качество стока и по которым предъявляются претензии водоканала (содержание взвешенных веществ и железа), рассматривались как обязательные и приняты в качестве объекта исследования.

В стоке г. Тюмени ХПК составляет $184\text{--}296 \text{ мг/дм}^3$, БПК — $78\text{--}170 \text{ мг/дм}^3$, в стоках центра реабилитации от смыва ванн ХПК — $98\text{--}270 \text{ мг/дм}^3$ (в зависимости от количества смыва ванн), БПК — $2,0 \text{ мг/дм}^3$. Высокая концентрация железа обусловлена наличием смывных вод от грязевых ванн. Так как содержание железа в стоках, сбрасываемых в городскую канализационную сеть, гораздо больше 5 мг/дм^3 — величины допустимой согласно «Правилам приема производственных сточных вод в системы канализации населенных пунктов» и договорной между центром и водоканалом г. Тюмени — $2,5 \text{ мг/дм}^3$, то центр вынужден был платить значительные штрафы.

Сапропели — иловые отложения континентальных водоемов (озер и лагун) состоят в основном из органических веществ и остатков водных

организмов. Это темная, мягкая масса илистого сложения из полурасложившегося вещества водорослей и животных, развитая на дне любого зарастающего пресного озера, представляет собой илстые отложения пресных водоемов, включающие большое количество органических веществ (лигниногумусовый комплекс, углеводы, битумы и др.) в коллоидном состоянии [1].

В центре для лечебных целей используется темно-оливковый высоководный (92–96 % воды) природный сапропель, с суммарным содержанием алюминий-железоорганического комплекса 7–8 % при 72–83%-м содержании органических веществ по сухой грязи. В зависимости от глубины заложения пласта сапропеля и нахождения месторождения в грязевом растворе может содержаться 183–752 мг/дм³ железа. Смыв сапропеля от грязевых ванн осуществляется минеральной (с высоким содержанием хлоридов) и водопроводной водой.

В цели исследования входило снижение содержания общего железа до 2,5 мг/дм³ в стоках от бальнеологических ванн, реагентным способом с последующим отстаиванием, перед отводом в общегородскую сеть.

При назначении дозы коагулянта D_k в общем случае руководствуются результатами технологического анализа или иногда используют полуэмпирические формулы, в частности, для очистки речной воды в зависимости от качества воды в источнике приводятся уравнения:

для воды р. Днепр в зависимости от мутности (M), щелочности (Щ), температуры (t °С) и хлоридов $\text{Cl}_{\text{исх}}^-$:

$$D_k = 0,9\text{Щ} + 13,6\text{Щ} - 0,4t + 0,9\text{Cl}_{\text{исх}}^- + 4; \quad (1)$$

для воды р. Москвы в зависимости от мутности, щелочности, температуры и рН, которые имеют различный вид для разных периодов года:

$$D_k = 20,62 - 0,004M - 0,59\text{Щ} - 0,007t - 1,76\text{pH}; \quad (2)$$

в зависимости от перманганатной окисляемости (ПО) для той же р. Москвы [2]:

$$D_k = 6,02\ln(\text{ПО}) - 4,12. \quad (3)$$

Выбор параметров зависимости, как правило, диктуется местными условиями, требованиями к доминирующим показателям и их влиянию на процесс коагуляции, поэтому однозначные формулы отсутствуют. В рассматриваемых условиях принимается целесообразным установление зависимости дозы коагулянта в виде

$$D_k = f(\text{Fe}_{\text{исх}}^{\text{общ}}, \text{Cl}_{\text{исх}}^-, D_{\text{ф}}), \quad (4)$$

где $\text{Fe}_{\text{исх}}^{\text{общ}}$ — исходная концентрация железа в воде, мг/дм³;

$\text{Cl}_{\text{исх}}^-$ — исходная концентрация хлоридов, мг/дм³;

$D_{\text{ф}}$ — доза флокулянта, мг/дм³.

В процессе предварительных исследований в производственных условиях [3] отмеченные факторы оказались наиболее значимыми и были приняты в исследованиях.

В работе использовалась подземная водопроводная и минеральная вода центра, принятая для смыва сапропеля от грязевых ванн. Для приго-

товления лабораторных растворов принят натуральный сапропель озера Малый Тарас-Куль, применяемый в центре для лечебных целей.

Процессы коагуляции исследовались согласно стандартной методике на стеклянных цилиндрах объемом 500 мл, с высотой зоны осаждения 260 мм. Содержание железа определялось по стандартной методике с применением сульфосалициловой кислоты на спектрофотометре ПЭ-5400ви.

В качестве реагентов использовались коагулянт — сернокислый алюминий (СА), флокулянт — ПАА.

Влияние дозы реагентов на процесс осаждения сапропеля и соответственно снижение содержания железа при высокой концентрации хлоридов представлено на рис. 1 и 2 (на графиках для наглядности начальные дозы коагулянта до 50 мг/дм³ не отражены). При введении коагулянта в исследуемых растворах интенсивное хлопьеобразование наблюдалось в течение первых двух минут, в дальнейшем независимо от вводимой дозы процесс укрупнения частиц протекает замедленно. Мутность воды, обусловленная наличием взвешенных веществ, снижалась достаточно быстро и полно (максимальные исходные значения мутности в зависимости от концентрации сапропеля составили 1406 мг/дм³).

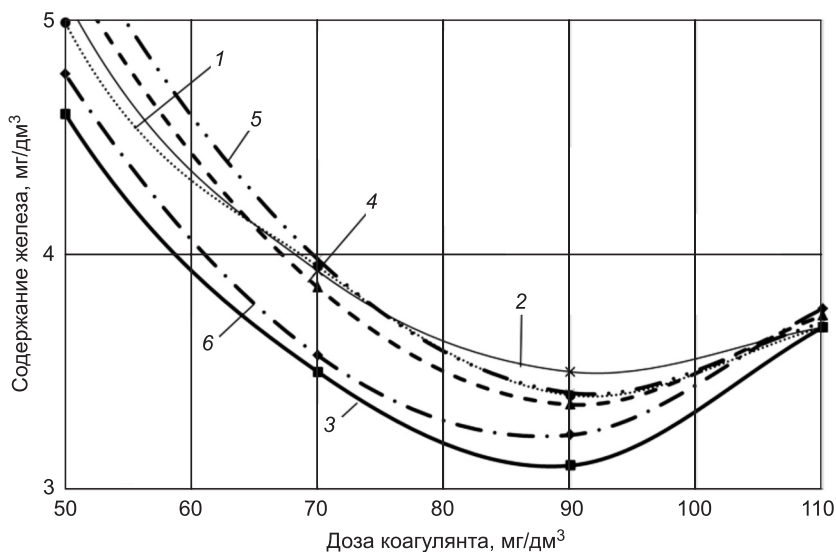


Рис. 1. Экспериментальные и расчетные зависимости для трехфакторного эксперимента при различных количествах железа и постоянном содержании $\text{Cl}^- = 400 \text{ мг/дм}^3$

Экспериментальная зависимость: 1 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 100 \text{ мг/дм}^3$; 2 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 200 \text{ мг/дм}^3$; 3 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 50 \text{ мг/дм}^3$

Расчетная зависимость: 4 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 100 \text{ мг/дм}^3$; 5 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 200 \text{ мг/дм}^3$; 6 — $[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} = 50 \text{ мг/дм}^3$

Увеличение содержания растворимого железа может быть связано с тем, что при избытке СА pH среды изменяется в сторону уменьшения, которое способствует растворению ранее выпавшего.

Вывод окончательного вида уравнения предусматривает использование метода планирования эксперимента. Для трех- и четырехфакторного эксперимента составлены ротатбельные планы, представленные в ран-

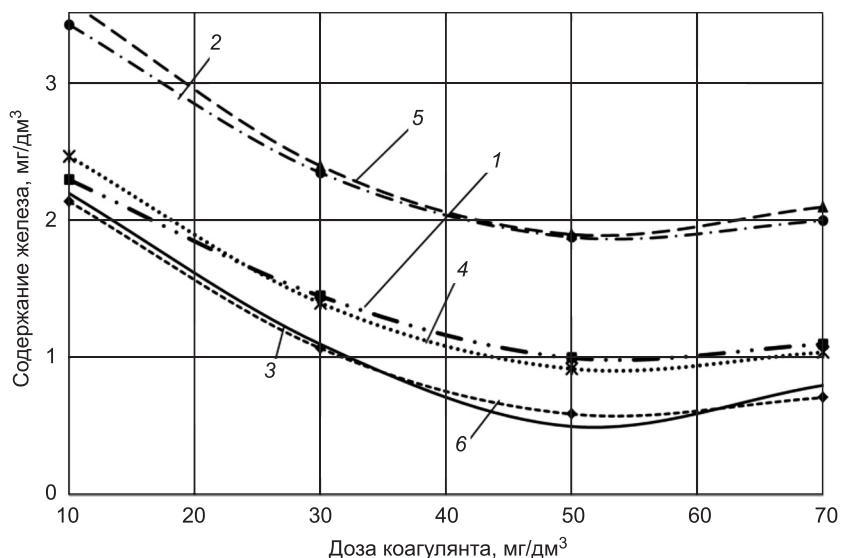


Рис. 2. Экспериментальные и расчетные зависимости для четырехфакторного эксперимента при различных количествах железа и постоянном содержании $Cl^- = 400 \text{ мг/дм}^3$

Усл. обозн. см. на рис. 1

них публикациях [4], на основании принятых пределов варьирования факторов и основного (нулевой) уровня (табл. 1, 2).

В связи с применением в исследованиях флокулянта для ускорения процесса коагуляции в планирование эксперимента введен дополнительный фактор — доза полиакриламида, которая явилась четвертым фактором.

На основании результатов эксперимента [4] определены значения коэффициентов для уравнения регрессии и проверены по критерию Стьюдента, результаты сведены в табл. 3.

Незначимые коэффициенты исключены из уравнений регрессии и они принимают:

трехфакторное

$$Y = 33,52 - 21,31X_1 - 5,31X_3 + 4,06X_1X_3 + 25,6X_1^2; \quad (5)$$

Таблица 1. Интервалы варьирования факторов для трехфакторного эксперимента

Кодовое обозначение	Доза сернокислого алюминия $Al_3(SO_4)_3$ (5 %), мг/дм³, X_1	Исходное содержание хлоридов, мг/дм³, X_2	Исходное содержание общего железа, мг/дм³, X_3
Основной уровень (0)	70	305	215
Верхний уровень (+)	110	460	330
Нижний уровень (-)	30	150	100
- α	2,8	44,6	21,8
+ α	137,2	565,4	408,2
Интервал варьирования	40	155	115

Таблица 2. Интервалы варьирования факторов для четырехфакторного эксперимента

Кодовое обозначение	Доза сернокислого алюминия $Al_3(SO_4)_3$ (5 %), мг/дм ³ , X_1	Исходное содержание хлоридов, мг/дм ³ , X_2	Исходное содержание общего железа, мг/дм ³ , X_3	Доза флокулянта ПАА, мг/л, X_4
Основной уровень (0)	40	305	215	3
Верхний уровень (+)	55	440	305	4
Нижний уровень (-)	25	170	125	2
- α	10	35	35	1
+ α	70	575	395	5
Интервал варьирования	15	135	90	1

Таблица 3. Оценка значимости коэффициентов регрессии по критерию Стьюдента

Трехфакторный эксперимент					Четырехфакторный эксперимент				
Коэффициент для уравнения регрессии		Критерий Стьюдента		Оценка значимости	Коэффициент для уравнения регрессии		Критерий Стьюдента		Оценка значимости
b_0	3,52	t_0	33,52		b_0	2,028	t_0	53,98	
b_1	-1,48	t_1	-21,31		b_1	0,083	t_1	4,11	
b_2	0,02	t_2	0,26	Незнач.	b_2	-0,075	t_2	-3,7	
b_3	-0,37	t_3	-5,31		b_3	0,492	t_3	24,24	
b_{11}	1,74	t_{11}	25,6		b_4	-0,013	t_4	-0,62	Незнач.
b_{12}	-0,04	t_{12}	-0,4	Незнач.	b_{11}	0,168	t_{11}	9,05	
b_{13}	0,37	t_{13}	4,06		b_{12}	0,344	t_{12}	13,83	
b_{22}	-0,03	t_{22}	-0,36	Незнач.	b_{13}	-0,006	t_{13}	-0,25	Незнач.
b_{23}	0,09	t_{23}	0,95	Незнач.	b_{14}	0,094	t_{14}	3,77	
b_{33}	-0,03	t_{33}	-0,49	Незнач.	b_{22}	-0,013	t_{22}	-0,69	Незнач.
					b_{23}	0,000	t_{23}	0,00	Незнач.
					b_{24}	0,025	t_{24}	1,01	Незнач.
					b_{33}	-0,088	t_{33}	-4,72	
					b_{34}	-0,113	t_{34}	-4,53	
					b_{44}	-0,007	t_{44}	-0,35	Незнач.

четырехфакторное

$$Y = 2,03 + 0,083X_1 - 0,075X_2 + 0,492X_3 + 0,344X_1X_2 + 0,094X_1X_4 - 0,113X_3X_4 + 0,168X_1^2 - 0,088X_3^2. \quad (6)$$

Адекватность полученных уравнений проверена по критерию Фишера — F , расчеты сведены в табл. 4.

Таблица 4. Проверка адекватности полученных уравнений

Показатель	Трехфакторный эксперимент	Четырехфакторный эксперимент
Число степеней свободы $f_{\text{воспр}} = n_0 - 1$	5	6
$S_{\text{ост}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_i^3 - y_i^p)}{N - l}$	$s_{\text{ост}}^2 = \frac{0,337}{20 - 7} = 0,066$	$s_{\text{ост}}^2 = \frac{0,161}{31 - 9} = 0,007$
$S_{\text{ад}}^2 = \frac{s_{\text{ост}}^2 f_{\text{ост}} - s_{\text{воспр}}^2 f_{\text{воспр}}}{f_{\text{ост}} - f_{\text{воспр}}}$	$s_{\text{ад}}^2 = \frac{0,066 \cdot 13 - 0,066 \cdot 5}{13 - 5} = 0,07$	$s_{\text{ад}}^2 = \frac{0,007 \cdot 22 - 0,01 \cdot 6}{22 - 6} = 0,006$
$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S_{\text{воспр}}^2}$	$F = \frac{0,13}{0,066} = 1,0$	$F = \frac{0,006}{0,01} = 0,65$
Табличное значение критерия Фишера	4,82 (уровень значимости $p = 0,05$, числа степеней свободы $f_1 = 8b$, $f_2 = 5$)	3,8 (уровень значимости $p = 0,05$, числа степеней свободы $f_1 = 22b$, $f_2 = 6$)

В результате уравнения регрессии в натуральном масштабе имеют вид:

трехфакторный

$$[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{ост}} = 13,28 - 0,2D_{\text{к}} - 0,1[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} + 0,00008D_{\text{к}}[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} + 0,00108D_{\text{к}}^2; \quad (7)$$

четырефакторный

$$[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{ост}} = 3,55 - 0,12D_{\text{к}} - 0,01[\text{Cl}^-] + 0,01[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}} - 0,0002D_{\text{к}}[\text{Cl}^-] + 0,063D_{\text{к}}D_{\text{ПАА}} - 0,0013[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}}D_{\text{ПАА}} + 0,0007D_{\text{к}}^2 - 0,00001[\text{Fe}^{\text{общ}}]_{\text{исх}}^2. \quad (8)$$

Погрешности экспериментальных данных и расчетной зависимости находятся в интервале $\pm 10\%$.

В отстойной воде центра реабилитации «Тараскуль» после ее коагулирования: ХПК изменяется в пределах 80–88 мг/дм³, окисляемость от 8,2 до 9,0 мг/дм³ при содержании железа не более 5 мг/дм³.

Проведены дополнительные исследования по содержанию алюминия в исследуемой воде (идущей от грязевых ванн). При содержании общего железа в исходной воде 400 мг/дм³ остаточного алюминия содержалось 0,25 мг/дм³. При оптимальной дозе коагулянта 90 мг/дм³ по завершении коагуляции содержание алюминия составило 2,55 мг/дм³: снижение дозы коагулянта ведет к уменьшению остаточного алюминия, повышение — к увеличению ($D_{\text{к}} = 70$ мг/дм³, $\text{Al}^{+3} = 4,45$ мг/дм³; $D_{\text{к}} = 110$ мг/дм³, $\text{Al}^{+3} = 5,1$ мг/дм³).

При максимальном содержании железа 400 мг/дм³, что соответствует 1410 мг/дм³ взвешенных веществ, при расходе стока центра реабилитации 18 м³/сут и смешении с 1000 м³/сут объединенного стока общее количество взвешенных веществ составляет 136 мг/дм³.

Концентрации взвешенных веществ и остаточного алюминия в общем стоке после усреднения определялись по уравнению:

$$C = \frac{V_1 C_1 + V_2 C_2}{V_1 + V_2}, \quad (9)$$

где V_1, V_2 — поступающие объемы, м³;

C_1, C_2 — соответствующие концентрации, мг/дм³.

При разбавлении в расходе 1000 м³/сут остаточный алюминий составит 0,06 мг/дм³, что при дальнейшем разбавлении и отводе в городскую сеть (около 210 000 м³/сут) уменьшит его содержание еще в большей степени.

Выводы. 1. Проведены исследования по снижению различных форм железа и взвешенных веществ в сапропелевом стоке бальнеологического центра «Тараскуль».

2. Установлено, что при коагулировании сернокислым алюминием влияние хлоридов очень незначительно, в то же время при использовании коагулянта с флокулянтом концентрация хлоридов (обусловленная применением минеральной воды в лечебном процессе) влияет на эффект снижения компонентов стока.

3. По результатам исследований в обобщенном виде в зависимости от ряда показателей воды предложены формулы по расчету оптимальной дозы реагентов для достижения требуемого эффекта по снижению содержания железа в сточной воде.

4. При коагулировании взвешенных веществ и железа стока ванн общее количество остаточного алюминия в объединенном с поселком стоке составило 0,06 мг/дм³.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Эпштейн, В.В. Физико-химическая и геохимическая характеристика сапропелей озер Тулубаево, Большой и Малый Тарас-Куль и Лебяжье [Текст] / В.В. Эпштейн, М.К. Гальнбек // Сапропели группы тюменских озер и их лечебные свойства: свод. сб. тр. — Тюмень : Кн. изд-во, 1955. — 171 с.
2. Долгоносов, Д.М. Прогноз дозы коагулянта на водопроводной станции в периоды половодья [Текст] / Б.М. Долгоносов, Д.Ю. Власов, Д.В. Дятлов, К.А. Корчагин // ВСТ. — 2005. — № 10. — С. 18–21.
3. Елизарова, О.Д. Влияние дозы коагулянта на содержание остаточного железа в сточной воде бальнеологического центра [Текст] / О.Д. Елизарова, А.Г. Жулин // Сборник материалов XI научной конференции молодых ученых, аспирантов и соискателей ТюмГАСУ. — Тюмень : РИО ТюмГАСУ, 2011. — С. 19–21.
4. Жулин, А.Г. Расчетная доза коагулянта для снижения содержания железа сапропеля [Текст] / А.Г. Жулин, О.Д. Елизарова // Земля, вода, климат Сибири и Арктики в XXI веке: проблемы и решения: сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. — Тюмень : РИО ТюмГАСУ, 2014. — С. 114–119.

ЖУЛИН Александр Гаврилович, канд. техн. наук, доц.; E-mail: semen1941@yandex.ru
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет
ЕЛИЗАРОВА Ольга Дмитриевна, асп.; E-mail: lelyaelizarova@rambler.ru
Тюменский государственный архитектурно-строительный университет

Получено после доработки 18.06.15

Zhulin Alexander Gavrilovich, candidate of technical sciences, assistant professor; E-mail: semen1941@yandex.ru, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

Elizarova Olga Dmitrievna, post-graduate student, E-mail: lelyaelizarova@rambler.ru, Tyumen State University of Architecture and Civil Engineering, Russia

REMOVING IRON FROM SAPROPELIC DRAINS

Runoffs from mud baths at balneological centres, which use sludge for therapeutic purposes, are highly enriched in sludge containing organic and non-organic iron components. The concentration of iron in these runoffs can reach the level of more than 200 mg/dm³, whereas the level of iron permitted to be discharged into the public municipal sewage collector should not exceed 5 mg/dm³.

Recently, the questions of balneological centres sludge impoverishment has not received adequate attention. Research on iron in its various forms and suspended particles impoverishment has been conducted at runoffs from the Taraskul balneological centre.

The results of this research established the optimum amount of reagents necessary to achieve the required effect on iron runoff impoverishment. Equations to calculate the amount of reagents, with reference to a number of factors, are introduced in a generalized form.

Key words: sapropel, iron, runoffs, coagulation, chlorides, calculated dose reagents.

REFERENCES

1. Epstein, V.V. Physico-chemical and geochemical characteristics of sapropel Tulubaevo lakes, Big and Small Taras-Kul and the swan [Text] / V.V. Epstein, M.K. Galnbek // Sapropels group Tyumen lakes and their healing properties. Consolidated collection trudov. — Tyumen : Book Publishing, 1955. — 171 p.
2. Dolgonosov, D.M. Forecast coagulant dose on the waterworks during periods of high water [Text] / B.M. Dolgonosov, D.Yu. Vlasov, D.V. Dyatlov, K.A. Korchagin // VST. — 2005. — N 10. — P. 18–21.
3. Elizarova, O.D. Effect of coagulant dose for residual iron in the waste water spa center [Text] / O.D. Elizarova, A.G. Zhulin // Proceedings of the XI scientific conference of young scientists, graduate students and applicants TyumGASU. — Tyumen : RIO TyumGASU, 2011. — P. 19–21.
4. Zhulin, A.G. The estimated dose of coagulant to reduce the iron content of Ca-sung [Text] / A.G. Zhulin, O.D. Elizarova // Earth, water, climate of Siberia and the Arctic in the XXI century: problems and solutions: proceedings of the international scientific and practical conference. — Tyumen : RIO TyumGASU, 2014. — P. 114–119.

ПРАВИЛА ПОДГОТОВКИ РУКОПИСИ¹

1. К рукописи, представляемой в редакцию на русском языке, необходимо приложить:
— *сопроводительное письмо* руководства организации, откуда исходит рукопись;

к сопроводительному письму должна быть приложена гарантия оплаты публикации статьи² за подписью автора или руководителя представляющей статью организации. Плата за публикацию статей аспирантов не взимается. Гарантийное письмо не требуется, если статья представляется организацией, осуществляющей целевые взносы на издание нашего журнала;

— *рекомендацию* соответствующей кафедры вуза (заверенную выписку из протокола заседания кафедры);

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

— *разрешение* Роспатента на открытую публикацию материалов по заявке на изобретение.

2. Рукопись должна готовиться на компьютере в программе Microsoft Word и представляться в редакцию распечатанной в двух экземплярах, с приложением ее записи на CD (3", 5").

Текст рукописи набирают шрифтом Times New Roman Cyr размером 14 пт. с межстрочным интервалом 1,5. Объем рукописи — до 10 страниц. Обязательна нумерация страниц.

3. Порядок оформления статьи:

— индекс УДК;

— инициалы, фамилии авторов;

— название статьи;

— аннотация;

— ключевые слова;

— текст статьи;

— библиографический список;

— сведения об авторах: *фамилии, имена, отчества (полностью), ученые степени, звания* (звания в негосударственных академиях наук и почетные звания не указывать); наименование учреждений, в которых работают авторы, на русском и *английском языках*;

— почтовые адреса, телефоны и *e-mail авторов*;

— *название статьи на английском языке*;

— *аннотация на английском языке*;

— *ключевые слова на английском языке*;

— *библиографический список на английском языке*.

4. На полях рукописи указываются места рисунков и таблиц (вставлять их в текст не нужно — это делается при верстке).

Статья должна быть тщательно отредактирована и подписана всеми авторами (с указанием даты отправки статьи).

5. Иллюстрации представляются в редакцию в виде файлов, созданных в программах CorelDraw или Microsoft Word, записанных с расширением *.cdg (предпочтительно) или *.doc, фотографий — TIFF или JPEG. Надписи и цифры набирать шрифтом Arial. Линии чертежа — не тоньше 1 пт. Иллюстрации, в том числе фотографии, должны быть черно-белыми с хорошей проработкой деталей.

Рисунки должны быть выполнены так, чтобы их можно было отредактировать (внести изменения, исправления, т.е. изменить шрифт, исправить возможные орфографические ошибки).

Иллюстрации должны быть распечатаны в двух экземплярах, с подписями к ним. Размер иллюстрации не должен превышать 20×30 см, их общее число, как правило, не более 4.

6. Таблицы печатаются каждая на отдельном листе. Все наименования в них даются полностью, без сокращения слов.

7. Формулы следует набирать на компьютере шрифтом Times New Roman размером 14 пт. Русские и греческие буквы и индексы, а также цифры, аббревиатуры и стандартные функции (Re, cos и др.) набираются прямым шрифтом. Латинские буквы набирать курсивом. Во избежание смешения сходных изображений прописных и строчных букв (*V и v, S и s, O и o, K и k* и др., а также трудноразличимых букв и символов: *l, e и 1* (цифра), *n и п, I и J* и т.п.) пояснения в необходимых случаях выполняются простым карандашом на полях. В статье должен быть необходимый минимум формул. Все второстепенные и промежуточные математические преобразования выносятся в приложение к статье (для рецензента).

¹ С дополнениями в соответствии с требованиями ВАК (выделены п/ж курсивом).

² На 2015 г. — из расчета 900 р. за 1 журнальную страницу.

(Окончание правил)

8. Следует применять физические величины, обозначения и единицы измерения в системе СИ(SI).

9. В библиографический список включаются только те работы, которые опубликованы в печати, составленные в соответствии с ГОСТ 7.80–2000, ГОСТ 7.1–03.

Примеры оформления можно найти на Internet-сайте НГАСУ (Сибстрин) по адресу www.sibstrin.ru и www.izvuzstr.sibstrin.ru

10. Если статья была или будет направлена в другое издание, или же была ранее опубликована, необходимо обязательно сообщить об этом редакции. Материалы уже публиковавшихся работ к рассмотрению не принимаются.

11. Рецензентов для статей редакция назначает по своему усмотрению. При доработке статьи после рецензии на первой странице указываются ее редакционный номер, число, месяц, год и пометка «рукопись после доработки». Доработанную статью необходимо присылать в двух экземплярах с приложением ее записи в *электронном виде*. К доработанной рукописи обязательно прикладывать ответы на все замечания рецензента. Датой поступления статьи считается получение редакцией ее окончательного текста.

12. Рукописи, не принятые к опубликованию, авторам не высылаются. Редакция имеет право производить сокращения и редакционные изменения текста рукописей. *Корректурa статей авторам не представляется.*

13. *Гонорар за опубликованные статьи не выплачивается.*

14. **Рукописи, не удовлетворяющие изложенным требованиям, отправляются авторам на доработку, что замедляет срок их опубликования.**

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 В лабораториях вузов
Внедрение научных достижений в производство
Научная информация

На 2-е полугодие 2015 г.

каталожная цена за 6 месяцев — 3300 р.

цена отдельного номера — 550 р.

ББК 38
И 33
УДК 69

Научное издание

**Известия вузов
СТРОИТЕЛЬСТВО**

№ 7 (679) 2015

Научно-теоретический журнал

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

Технический редактор *Н.М. Макаренко*

Компьютерная верстка *Р.Г. Усова*

Корректор *Г.И. Шведкина*