

ISSN ONLINE 2782-1919

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



**Том 2
выпуск**

**2
2021**

**VOL. 2
ISSUE 2**

*ИЗДАНИЕ ЯРОСЛАВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
ТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА*

УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в ноябре 2020 года, выходит 4 раза в год

***Том 2
Вып. 2***

Ярославль 2021

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ «УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ»

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

Главный редактор: С.В. ФЕДОСОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва)

Заместители главного редактора: А.А. ИГНАТЬЕВ (к.т.н., доц., Ярославль)
П.Б. РАЗГОВОРОВ (д.т.н., проф., Ярославль)

Ответственный секретарь: Е.С. ЕГОРОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

А.А. АБДЫКАЛЫКОВ (д.т.н., проф., Кыргызстан, Бишкек), П.А. АКИМОВ (ученый секретарь Президиума РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), В.В. БЕЛОВ (советник РААСН, д.т.н., проф., Тверь), А.М. БЕЛОСТОЦКИЙ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), Н.И. ВАТИН (советник РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург), В.М. ГОТОВЦЕВ (д.т.н., проф., Ярославль), А.В. ЗАХАРОВ (советник РААСН, к. архитектуры, проф., Иваново), А.Б. КАПРАНОВА (д.ф.-м.н., проф., Ярославль), В.И. КОЛЧУНОВ (академик РААСН, д.т.н., проф., Курск), В.Г. КОТЛОВ (советник РААСН, к.т.н., проф., Йошкар-Ола), Н.Н. КУДРЯШОВ (к. архитектуры, проф., Ярославль), А.Е. ЛЕБЕДЕВ (д.т.н., доц., Ярославль), С.Н. ЛЕОНОВИЧ (иностраннный акад. РААСН, д.т.н., проф., Республика Беларусь, Минск), В.Л. МОНДРУС (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.И. МОХОВ (акад. РАЕН, д.т.н., проф., Москва), П.И. ПОСПЕЛОВ (д.т.н., проф., Москва), Ю.В. ПУХАРЕНКО (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Санкт-Петербург, Россия), С.П. РУДОБАШТА (д.т.н., проф., Москва), В.Е. РУМЯНЦЕВА (советник РААСН, д.т.н., проф., Иваново), В.П. СЕЛЯЕВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Саранск), М.Ю. ТАРШИС (д.т.н., доц., Ярославль), В.И. ТРАВУШ (вице-президент РААСН, акад. РААСН, д.т.н., проф., Москва), А.А. ТРЕЩЕВ (чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф., Тула), В.Н. ФЕДОСЕЕВ (д.т.н., проф., Иваново), Г.А. ФОМЕНКО (акад. РАЕН, д.г.н., проф., Ярославль), Е.М. ЧЕРНЫШОВ (акад. РААСН, д.т.н., проф., Воронеж), RADIVOJE MITROVIĆ (PhD по техн. н., проф., Республика Сербия, Белград)

Учредитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ярославский государственный технический университет»

Адрес редакции 150023, г. Ярославль, Московский проспект, 88

Телефон +7 (4852) 44-03-67

E-mail ignatyeva@ystu.ru

Электронный адрес <http://comincon.ru>

Журнал издается при содействии Российской Академии архитектуры и строительных наук

Редактор: М.А. Канакотина

Англ. перевод: Л.А. Тюкина

Компьютерная верстка: Е.С. Егоров

Корректор: О.А. Юрасова

Зарегистрирован 27 Ноября 2020 (Свидетельство ЭЛ № ФС 77 - 79733)

Периодичность: 4 раза в год

Подписка и распространение Свободный доступ

YAROSLAVL STATE TECHNICAL UNIVERSITY

***SMART COMPOSITE
IN CONSTRUCTION***

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

Established in November 2020, published quarterly

***Volume 2
Issue 2***

Yaroslavl 2021

SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION

EDITORIAL BOARD

<i>Editor-in-Chief:</i>	S.V. FEDOSOV (<i>Acad. RAACS, Doctor of Technical Sciences, Professor, Moscow</i>)
<i>Deputy Editors-in-Chief:</i>	A.A. IGNATYEV (<i>c.en.s., doc., Yaroslavl</i>) P.B. RAZGOVOROV (<i>d.en.s, prof., Yaroslavl</i>)
<i>Executive secretary:</i>	E.S. EGOROV

INTERNATIONAL EDITORIAL BOARD

A.A. ABDYKALYKOV (*d.en.s., prof., Kyrgyzstan, Bishkek*), P.A. AKIMOV (*acad. RAACS, d.en.s., prof., Moscow*), V.V. BELOV (*adv. RAACS, d.en.s, prof., Tver*), A.M. BELOSTOTSKIY (*corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Moscow*), N.I. Vatin (*adv. RAACS, d.en.s., prof., Saint-Petersburg, Russia*), V.M. GOTOVTSEV (*d.en.s, prof., Yaroslavl*), A.V. ZAKHAROV (*adv. RAACS, c. arch., prof. Ivanovo*), A.B. KAPRANOVA (*d. physic. and math. sciences, prof., Yaroslavl*), V.I. KOLCHUNOV (*acad. RAACS, d.en.c, prof., Kursk*), V.G. KOTLOV (*adv. RACS, c.en.s, prof., Yoshkar-Ola*), N.N. KUDRYASHOV (*c.arch, prof., Yaroslavl*), A.E. LEBEDEV (*d.en.s., doc., Yaroslavl*), S.N. LEONOVICH (*for. acad. RAACS, d.en.s, prof., Belarus, Minsk*), V.L. MONDRUS (*corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Moscow*), A.I. MOKHOV (*acad. RANS, d.en.s., prof., Moscow*), P.I. POSPELOV (*d.en.s, prof., Moscow*), Yu.V. PUKHARENKO (*corr. memb. RAACS, d.en.s, prof., Saint-Petersburg, Russia*), S.P. RUDOBASHTA (*d.en.s., prof., Moscow*), V.E. RUMYANTSEVA (*adv. RAACS, d.en.s., prof., Ivanovo*), V.P. SELYAEV (*acad. RAACS, d.en.s., prof., Saransk*), M.Yu. TARSHIS (*d.en.s., doc., Yaroslavl*), V.I. TRAVUSH (*Vice Pres. RAACS, acad. RAACS, d.en.s., prof. Moscow*), A.A. TRESHCHEV (*corr. memb. RAACS, d.en.s., prof., Tula*), V.N. FEDOSEEV (*d.en.s., prof., Ivanovo*), G.A. FOMENKO (*acad. RANS, d.geogr.s, prof., Yaroslavl*), E. M. CHERNYSHOV (*acad. RAACS, d.en.s., prof., Voronezh*), RADIVOJE MITROVIĆ (*PhD en.s., prof., Serbia, Belgrade*)

<i>Founder:</i>	Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education "Yaroslavl State Technical University"
<i>Editorial office address</i>	88, Moskovsky Prosp., Yaroslavl, 150023, Russia
<i>Telephone</i>	+7 (4852) 44-03-67
<i>E-mail</i>	ignatyevaa@ystu.ru
<i>Website</i>	http://comincon.ru

Published with the assistance of Russian Academy of Architecture and Construction Sciences

<i>Editor:</i>	M.A. Kanakotina
<i>English translator:</i>	L.A. Tyukina
<i>Layout designer:</i>	E.S. Egorov
<i>Proofreader:</i>	O.A. Yurasova
<i>Registration</i>	27 November 2020 (Certificate EL No FS 77 - 79733)
<i>Frequency:</i>	Quarterly
<i>Subscription and distribution</i>	Open Access



СОДЕРЖАНИЕ

Федосов, С. В., Баканов, М. О. Метод «микропроцессов» при моделировании процессов теплопроводности и диффузии в телах канонической формы. Обобщенные граничные условия III рода	7
Рудобашта С.П. Массопроводность при сушке строительных материалов	16
Белов В.В., Баркая Т.Р. Физико-механические свойства неавтоклавно поризованного бетона	23
Балыков А.С., Низина Т.А., Володин В.В., Коровкин Д.И. Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны на основе высоконаполненных цементных вяжущих	32
Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А. Обоснование методом анализа иерархий экспертных суждений критериев повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса.....	38
Опарина Л.А. Применение технологий информационного моделирования для управления сроками строительства	48
Дудин В.М., Окутин А.Э., Смекалов Н.С. Повышение безопасности асфальтобетонного покрытия.....	56
Мохов А.И., Мохова Л.А. Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 1	64



CONTENTS

<i>Fedosov S.V., Bakanov M.O.</i> <i>Method of «microprocesses» in modeling the processes of thermal conductivity and diffusion in bodies of canonical shape. Generalized boundary conditions of the third kind.</i>	7
<i>Rudobashta S.P.</i> <i>Mass conductivity during drying of building materials</i>	16
<i>Belov, V.V., Barkaya, T.R.</i> <i>Physical and Mechanical Properties of Non-Autoclave Ash Porous Concrete...</i>	23
<i>Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Korovkin D.I.</i> <i>Self-compacting fine-grained concretes based on highly filled cement binders.</i>	32
<i>Fedosov S.V., Fedoseev V.N, Zaytseva I.A., Voronov V.A.</i> <i>The hierarchy analysis method in backing expert judgments of criteria for increasing the energy efficiency of air heat pump</i>	38
<i>Oparina L.A.</i> <i>Application of information modeling technologies for construction time management.....</i>	48
<i>Dudin V.M., Okutin A.E., Smekalov N.S. I</i> <i>Improving the safety of asphalt pavement.</i>	56
<i>Мохоев А.И., Мохоева Л.А.</i> <i>Modeling the research direction in the construction of a modern university: part 1</i>	64



УДК 536.212.3

МЕТОД «МИКРОПРОЦЕССОВ» ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ И ДИФФУЗИИ В ТЕЛАХ КАНОНИЧЕСКОЙ ФОРМЫ. ОБОБЩЕННЫЕ ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ III РОДА

С.В. Федосов^{1,2}, М.О. Баканов³

Сергей Викторович Федосов

¹Кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, Москва, Российская Федерация, 129337;

²Поволжский государственный технический университет, пл. Ленина, 3, Йошкар-Ола, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 424000

E-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Максим Олегович Баканов

³Кафедра пожарной тактики и основ аварийно-спасательных и других неотложных работ (в составе УНК «Пожаротушение»), Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, пр-т Строителей, 33, Иваново, Российская Федерация, 153011

E-mail: mask-13@mail.ru



Большинство материалов, проходящих обработку в производственных процессах химической технологии, с точки зрения принципов геометрии могут быть сведены к традиционным телам канонической формы: пластина, цилиндр, шар. В процессах термической обработки твёрдых материалов (тепловлажностная обработка, сушка, обжиг) потенциалы переноса (температура, массосодержание) существенно меняются во времени процесса. Для решения краевых задач тепло- и массо-(влаго-)проводности в подобных случаях ранее были предложены «зональный» метод и метод «микропроцессов». Возможности метода «микропроцессов», применительно к моделированию краевых задач тепломассопереноса для тел канонической формы при граничных условиях первого рода (условиях Дирихле), были показаны в предыдущих работах авторов. В настоящей работе приводится изложение иллюстрации применения метода «микропроцессов» для решения краевых задач тепло- и влагопроводности при более общих граничных условиях, условиях III рода (Римана-Ньютона). Большая универсальность этих условий заключается в том, что в зависимости от значений числа Био (Bi) они преобразуются в условие первого рода (Bi стремится к нулю) или второго (Bi стремится к бесконечности). Показано, что для моделирования процессов тепломассопереноса в системах с твёрдой фазой на основе метода «микропроцессов» перспективным является поиск решений в области малых значений чисел Фурье ($Fo < 0,1$). Приведены решения соответствующих краевых задач и показаны примеры результатов их численной реализации.

Ключевые слова: термическая обработка, тепломассоперенос, пластина, цилиндр, сфера, «зональный» метод, метод «микропроцессов», малые значения числа Фурье

Для цитирования:

Федосов С.В., Баканов М.О. Метод «микропроцессов» при моделировании процессов теплопроводности и диффузии в телах канонической формы. Обобщенные граничные условия III рода. Умные композиты в строительстве 2021. Т. 2. №. 2. С. 7-15 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_7



UDC 536.212.3

METHOD OF «MICROPROCESSES» IN MODELING THE PROCESSES OF THERMAL CONDUCTIVITY AND DIFFUSION IN BODIES OF CANONICAL SHAPE. GENERALIZED BOUNDARY CONDITIONS OF THE THIRD KIND

S.V. Fedosov^{1,2}, M.O. Bakanov³

Sergey V. Fedosov

¹Department of Technology of Binders and Concrete, Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl highway, 26, Moscow, Russian Federation, 129337

²Volga State University of Technology, Lenin Square, 3, Yoshkar-Ola, Mari El Republic, 424000, Russia

E-mail: FedosovSV@mgsu.ru

Maksim O. Bakanov

³Department of Fire Tactics and the Basics of Rescue and Other Emergency Operations, Ivanovo Fire Rescue Academy of State Firefighting Service of Ministry of Russian Federation for Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters, Stroiteley ave., 33, Ivanovo, 153011, Russia

E-mail: mask-13@mail.ru



Most of the materials undergoing processing in the production processes of chemical technology, from the point of view of the principles of geometry, can be reduced to traditional bodies of canonical shape: a plate, a cylinder, a ball. In the processes of heat treatment of solid materials (heat-moisture treatment, drying, firing), the transfer potentials (temperature, mass content) change significantly over the time of the process. To solve boundary value problems of heat and mass (moisture) conductivity in such cases, the "zonal" method and the "microprocess" method were previously proposed. The possibilities of the "microprocesses" method applied to modeling boundary value problems of heat and mass transfer for bodies of canonical shape under boundary conditions of the first kind (Dirichlet conditions) were shown in the previous works of the authors. This paper presents an illustration of the application of the "microprocess" method for solving boundary value problems of heat and moisture conductivity under more general boundary conditions, conditions of the third kind (Rie-mann-Newton). The great universality of these conditions lies in the fact that, depending on the values of the Biot number (Bi), they transform into a condition of the first kind (Bi tends to zero) or the second (Bi tends to infinity). It is shown that the search for solutions in the region of small values of Fourier numbers ($Fo < 0.1$) is promising for modeling the processes of heat and mass transfer in systems with a solid phase based on the method of "micro-processes". Solutions of the corresponding boundary value problems are given and examples of the results of their numerical implementation are shown.

Key words: heat treatment, heat and mass transfer, plate, cylinder, sphere, "zonal" method, "micro-processes" method, low Fourier numbers

For citation:

Fedosov S.V., Bakanov M.O. Method of «microprocesses» in modeling the processes of thermal conductivity and diffusion in bodies of canonical shape. Generalized boundary conditions of the third kind. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 7-15 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_7



ВВЕДЕНИЕ

В [1] рассмотрены случаи синтеза математических моделей процессов тепло- и массопереноса в телах канонической формы (пластина, цилиндр, сфера). Проблема рассмотрена для задач теплопроводности и диффузии в твердых телах. При этом для упрощения выкладок (преобразований) рассмотрены задачи с граничными условиями первого рода, называемые также условиями Дирихле [2]. Решение краевых задач тепло- и влагопроводности при общих граничных условиях III рода (Римана-Ньютона) обладает своей универсальностью, так как в зависимости от значений числа Био (Bi), они преобразуются в условие первого рода (Bi стремится к нулю) или второго рода (Bi стремится к бесконечности).

При этом задается закон изменения потенциала переноса (теплоты и массы) на границе твердого тела с окружающей средой.

В [1] также приведены выражения для расчета полей температур в зависимости от теплофизических параметров, а также полей потенциалов массопереноса.

В фундаментальной монографии академика А.В. Лыкова и профессора Ю.А. Михайлова [3] приведены решения многих задач теплопроводности и диффузии для тел различной конфигурации, включая и тела канонической формы. При этом можно отметить два принципиальных момента. Первый – решения, полученные в форме рядов Фурье, характерны для задач с неравномерными начальными распределениями потенциалов переноса теплоты и массы вещества. В случае равномерных начальных распределений из полученных решений легко получаются частные случаи для равномерных начальных условий. При этом решений для малых значений чисел Фурье (Fo , $Fo_m < 0,1$) не приводится.

Вместе с тем, как уже не раз отмечалось в специальной литературе [4], решения в форме рядов Фурье обладают одной «неприятной» особенностью: с уменьшением времени процесса уменьшаются и числовые значения критериев Фурье, характеризующих подобие нестационарных процессов тепло- и массопереноса (Fo_n , Fo_m). Это, в свою очередь, приводит к увеличению числа членов бесконечного ряда и нарастанию ошибки вычислений. Принципиальное значение эти факторы приобретают при реализации методов расчета с использованием «зонального» метода [5] и метода «микропроцессов» [4].

В [1] изложена методология получения решений задач тепло- и массопереноса при неравномерных начальных распределениях потенциалов переноса. Целью настоящей работы является изложение принципов получения решений краевых задач для более общих граничных условий – условий третьего рода, или условий Ньютона [2].

Обратим внимание на тот факт, что граничные условия являются общими для задач теплопроводности и диффузии. При $Bi \rightarrow 0$ они переходят в условия второго рода (условие Неймана), а при $Bi \rightarrow \infty$ переходят в условия первого рода (условие Дирихле).

МЕТОДИКА ТЕОРЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

$$\frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial \tau} = a \left[\frac{\partial^2 \theta(x, \tau)}{\partial x^2} + \frac{\Gamma}{x} \cdot \frac{\partial \theta(x, \tau)}{\partial x} \right]; \quad \theta > 0; \quad 0 \leq x \leq R; \quad (1)$$

$$\theta(x, 0) = \theta_0(x); \quad (2)$$

$$\frac{\partial \theta(0, \tau)}{\partial x} = 0; \quad (3)$$

$$\alpha[\theta_c - \theta(R, \tau)] = \lambda \frac{\theta(R, \tau)}{x}, \quad (4)$$

где $\Gamma = 0$ для задач тепло-(массо-)переноса для неограниченной пластины; $\Gamma = 1$ для задач тепло-(массо-)переноса для неограниченного цилиндра; $\Gamma = 2$ для задач тепло-(массо-)переноса для сферы.

Введём в рассмотрение безразмерные величины

$$\theta(\bar{x}, Fo) = \frac{\theta_c - \theta(x, \tau)}{\theta_c - \theta_0}; \quad Fo = \frac{a\tau}{R^2}; \quad Bi = \frac{\alpha R}{\lambda}; \quad \bar{x} = \frac{x}{R}, \quad (5)$$

где α – коэффициент теплоотдачи, $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$

Соответственно, для задач массопереноса по аналогии можно записать

$$\theta_m(\bar{x}, Fo_m) = \frac{\theta_{0,m} - \theta_m(x, \tau)}{\theta_{0,m} - \theta_{c,m}}; \quad Fo_m = \frac{k\tau}{R^2}; \quad Bi_m = \frac{\beta R}{k}, \quad (6)$$

где β – коэффициент массоотдачи, $м/с$; k – коэффициент массопроводности, $м^2/с$.

В принятых безразмерных переменных краевая задача теплопереноса примет следующий вид ($\Gamma=0$):

$$\frac{\partial \theta(\bar{x}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(\bar{x}, Fo)}{\partial \bar{x}^2}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{x} \leq 1; \quad (7)$$

$$\theta(\bar{x}, 0) = \frac{\theta_c - \theta(x, 0)}{\theta_c} = \theta_0(\bar{x}); \quad (8)$$

$$\frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial \bar{x}} = \frac{\partial}{\partial \bar{x}} \left[\frac{\theta_c - \theta(0, Fo)}{\theta_c} \right] = 0; \quad (9)$$

$$\frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial \bar{x}} = -Bi \cdot \theta(1, Fo). \quad (10)$$

Существует много методов решения краевой задачи, описанной системой уравнений (7)–(10), одним из наиболее перспективных является интегральное преобразование Лапласа [6] по временной переменной Fo [4], тогда можно записать

$$\frac{d^2 \theta(\bar{x}, s)}{d\bar{x}^2} - s \cdot \theta(\bar{x}, s) + \theta_0(\bar{x}) = 0; \quad (11)$$

$$\frac{d\theta(0, s)}{d\bar{x}} = 0; \quad (12)$$

$$\frac{d\theta(1, s)}{d\bar{x}} = -Bi \cdot \theta(1, s). \quad (13)$$

Уравнение (11) является линейным неоднородным дифференциальным уравнением второго порядка [7].

Решая его с использованием граничных условий (12), (13) и опуская несложные, но громоздкие преобразования, запишем решение в области комплексных переменных:



$$\theta(\bar{x}, s) = \frac{(Bish\sqrt{s} + \sqrt{s}ch\sqrt{s})ch(\sqrt{s}\bar{x})}{\sqrt{s}(Bich\sqrt{s} + \sqrt{s}sh\sqrt{s})} \int_0^1 \theta_0(\xi)ch(\sqrt{s}\xi)d\xi - \frac{1}{\sqrt{s}} \left[sh(\sqrt{s}\bar{x}) \int_0^{\bar{x}} \theta_0(\xi)ch(\sqrt{s}\xi)d\xi + ch(\sqrt{s}\bar{x}) \int_{\bar{x}}^1 \theta_0(\xi)sh(\sqrt{s}\xi)d\xi \right], \quad (14)$$

где ξ – переменная, изменяющаяся от 0 до x.

Возвращение из области изображений в область оригиналов производится по формуле обратного преобразования [7]:

$$\theta(\bar{x}, Fo) = L^{-1}[\theta(\bar{x}, s)] = L^{-1} \left[\frac{\varphi(s)}{\psi'(s)} \right]_{s=0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\varphi_n(s)}{\psi'_n(s)} \exp(s_n Fo). \quad (15)$$

Здесь $\varphi(s)$ и $\psi'(s)$ – соответственно функции, находящиеся в числителе и знаменателе (14).

Обратите внимание на тот факт, что граничное условие (13) является общим для задач теплопроводности и диффузии. При $Bi \rightarrow 0$ оно переходит в условие второго рода (условие Неймана), а при $Bi \rightarrow \infty$ переходит в условие первого рода (условие Дирихле).

В результате математических преобразований в соответствии с формулой (15), оно принимает следующий окончательный вид:

$$\theta(\bar{x}, Fo) = 2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n \exp(-\mu_n^2 Fo)}{\mu_n + \sin \mu_n \cos \mu_n} \cos(\mu_n \bar{x}) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_n \xi) d\xi \quad (16)$$

В полученном выражении величина μ_n определяет множество корней характеристического уравнения:

$$\operatorname{ctg} \mu_n = \frac{\mu_n}{Bi} \quad (17)$$

Аналогичным образом для краевой задачи массопереноса будут справедливы выражения:

$$\theta(\bar{x}, Fo_m) = 2 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\mu_m \exp(-\mu_m^2 Fo_m)}{\mu_m + \sin \mu_m \cos \mu_m} \cos(\mu_m \bar{x}) \int_0^1 T_0(\xi) \cos(\mu_m \xi) d\xi. \quad (18)$$

$$\operatorname{ctg} \mu_m = \frac{\mu_m}{Bi} \quad (19)$$

Основываясь на принципах изложенной методологии решения краевых задач тепло-массопереноса, приведем записи постановки и решения задач для цилиндра и сферы.

Постановка задачи тепло-(массо)-переноса для неограниченного цилиндра ($\Gamma = 1$):

$$\frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2} + \frac{1}{\bar{r}} \cdot \frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad (20)$$

$$\theta(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = \theta_0(\bar{r}) \quad (21)$$

$$\frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial \bar{r}} = 0; \quad \theta(0, Fo) \neq \infty; \quad (22)$$

$$\frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial \bar{r}} = -Bi \cdot \theta(1, Fo). \quad (23)$$

В области комплексных переменных эта задача будет иметь следующий вид:

$$\frac{d^2 \theta(\bar{r}, s)}{d\bar{r}^2} - s\theta(\bar{r}, s) + \theta_0(\bar{r}) + \frac{1}{\bar{r}} \cdot \frac{d\theta(\bar{r}, s)}{d\bar{r}} = 0; \quad (24)$$

$$\frac{d\theta(0, s)}{d\bar{r}} = 0; \quad \theta(0, s) \neq \infty; \quad (25)$$

$$\frac{d\theta(1, s)}{d\bar{r}} = -Bi \cdot \theta(1, s). \quad (26)$$

И вновь, опуская громоздкие преобразования, приведем решения задачи (24)-(26) в области изображений:

$$\theta(\bar{r}, s) = \frac{I_0(\sqrt{s}\bar{r})}{\psi(s)} \left\{ \psi_1(s) \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi + \psi(s) \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) K_0(\sqrt{s}\xi) d\xi \right\} - \frac{\psi_1(s)}{\psi(s)} \left\{ I_0(\sqrt{s}\bar{r}) \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) K_0(\sqrt{s}\xi) d\xi - K_0(\sqrt{s}\bar{r}) \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi \right\}. \quad (27)$$

Здесь $I_0(\sqrt{s}), I_0(\sqrt{s}\bar{r})$ – функции Бесселя первого рода от чисто мнимого аргумента нулевого порядка (модифицированная функция Бесселя первого рода нулевого порядка);

$K_0(\sqrt{s}), K_0(\sqrt{s}\bar{r})$ – функции Бесселя второго рода нулевого порядка от чисто мнимого аргумента [8].

Применяя к полученному выражению вновь процедуру обратного преобразования Лапласа в соответствии с (15), получим решение в форме

$$\theta(\bar{r}, Fo) = -2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{\mu_n J_0(\mu_n \bar{r}) [\mu_n Y_1(\mu_n) + Bi Y_0(\mu_n)]}{\mu_n J_0(\mu_n) + Bi J_1(\mu_n)} \exp(-\mu_n^2 Fo) \times \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) J_0(\mu_n \xi) d\xi. \quad (28)$$

Здесь $J_0(\mu_n), J_0(\mu_n \bar{r}), J_1(\mu_n), Y_0(\mu_n), Y_1(\mu_n)$ – обычные функции Бесселя, определенные в специальной литературе, например [9].

И вновь отметим, что аналогичным будет и решение задачи массопереноса. При этом у величин μ, Bi, Fo нижним индексом становится величина «т».

ПОСТАНОВКА И РЕШЕНИЕ КРАЕВОЙ ЗАДАЧИ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА ДЛЯ СФЕРЫ

Для тела сферической формы ($\Gamma=2$) запишем:

$$\frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2} + \frac{2}{\bar{r}} \cdot \frac{\partial \theta(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}}; \quad Fo > 0; \quad 0 \leq \bar{r} \leq 1; \quad (29)$$

$$\theta(\bar{r}, Fo)|_{Fo=0} = \theta_0(\bar{r}); \quad (30)$$

$$\frac{\partial \theta(0, Fo)}{\partial \bar{r}} = 0; \quad \theta(0, Fo) \neq \infty; \quad (31)$$

$$\frac{\partial \theta(1, Fo)}{\partial \bar{r}} = -Bi \cdot \theta(1, Fo). \quad (32)$$

Отметим, что для граничного условия в центре шара появилось дополнение, что значение температуры в центре не может иметь бесконечной величины.



Производим замену переменной по правилу

$$U(\bar{r}, Fo) = \bar{r}\theta(\bar{r}, Fo). \quad (33)$$

В результате получается выражение вида

$$\frac{\partial U(\bar{r}, Fo)}{\partial Fo} = \frac{\partial^2 U(\bar{r}, Fo)}{\partial \bar{r}^2}. \quad (34)$$

В дальнейшем, выполняя преобразования по процедуре получения решения для неограниченной пластины, получаем решение в области изображений по Лапласу:

$$\theta(\bar{r}, s) = \frac{sh(\sqrt{s}\bar{r})}{\bar{r}\sqrt{s}[(Bi-1)sh\sqrt{s} + \sqrt{s} \cdot ch\sqrt{s}]} \left\{ \sqrt{s} \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) ch\sqrt{s}(1-\xi) d\xi + \right. \\ \left. + (Bi-1) \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) sh\sqrt{s}(1-\xi) d\xi \right\} - \frac{1}{\bar{r}\sqrt{s}} \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) sh\sqrt{s}(\bar{r}-\xi) d\xi. \quad (35)$$

Окончательное решение краевой задачи в области оригиналов имеет следующий вид:

$$\theta(\bar{r}, Fo) = -\frac{2}{\bar{r}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{[(Bi-1)\cos\mu_n - \mu_n \cdot \sin\mu_n] \sin(\mu_n \bar{r})}{Bi \cdot \cos\mu_n - \mu_n \sin\mu_n} \times \\ \times \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) \sin(\mu_n \xi) d\xi \cdot \exp(-\mu_n^2 Fo). \quad (36)$$

Характеристическое уравнение для поиска множества корней в данном случае:

$$\text{tg}\mu_n = -\frac{\mu_n}{Bi-1}. \quad (37)$$

И вновь отметим, что решение для задачи массопереноса (диффузии в твердом теле) будет иметь аналогичный вид при использовании обозначений

$$\theta_m(\bar{r}, Fo_m); Bi_m, \mu_m. \quad (38)$$

РЕШЕНИЕ ДЛЯ ОБЛАСТИ МАЛЫХ ЗНАЧЕНИЙ ЧИСЛА ФУРЬЕ

Для того чтобы получить решение краевых задач тепло- и массопереноса для области малых значений чисел Фурье, необходимо использовать следующие свойства гиперболических функций [10]:

$$ch\sqrt{s} = \frac{1}{2} \left(e^{\sqrt{s}} + e^{-\sqrt{s}} \right) \equiv \frac{1}{2} e^{\sqrt{s}} \quad (39)$$

$$sh\sqrt{s} = \frac{1}{2} \left(e^{\sqrt{s}} - e^{-\sqrt{s}} \right) \equiv \frac{1}{2} e^{\sqrt{s}} \quad (40)$$

$$ch\sqrt{s\bar{x}} = \frac{1}{2} \left(e^{\sqrt{s\bar{x}}} + e^{-\sqrt{s\bar{x}}} \right) \quad (41)$$

$$sh\sqrt{s\bar{x}} = \frac{1}{2} \left(e^{\sqrt{s\bar{x}}} - e^{-\sqrt{s\bar{x}}} \right) \quad (42)$$

В результате выражения (14), (27) и (35) преобразуются к следующему виду:

- пластина:

$$\theta(\bar{x}, s) = \frac{1}{2\sqrt{s}} \left\{ \int_0^{\bar{x}} \theta_0(\xi) e^{\sqrt{s}(\xi-\bar{x})} d\xi + \int_{\bar{x}}^1 \theta_0(\xi) e^{\sqrt{s}(\bar{x}-\xi)} d\xi + \right. \\ \left. + \int_0^1 \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(\bar{x}+\xi)} d\xi \right\} - \frac{Bi-\sqrt{s}}{2\sqrt{s}(Bi+\sqrt{s})} \int_0^1 \theta_0(\xi) e^{\sqrt{s}\xi} d\xi \times \\ \times \left[e^{\sqrt{s}(\bar{x}-2)} + e^{-\sqrt{s}(\bar{x}+2)} \right]; \quad (43)$$

- цилиндр:

$$\theta(\bar{r}, s) = \frac{1}{\psi(s)} \left\{ \sqrt{s} I_1(\sqrt{s}) \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) K_0(\sqrt{s}\bar{r}) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi + \right. \\ \left. + \int_{\bar{r}}^1 \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\bar{r}) K_0(\sqrt{s}\xi) d\xi \right\} + Bi I_0(\sqrt{s}) \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) K_0(\sqrt{s}\bar{r}) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi + \\ + \int_{\bar{r}}^1 \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\bar{r}) K_0(\sqrt{s}\xi) d\xi + \sqrt{s} K_1(\sqrt{s}) I_0(\sqrt{s}\bar{r}) \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi - \\ - Bi K_0(\sqrt{s}) I_0(\sqrt{s}\bar{r}) \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) I_0(\sqrt{s}\xi) d\xi \}; \quad (44)$$

- сфера:

$$\theta(\bar{r}, s) = \frac{1}{2\bar{r}\sqrt{s}} \left\{ \int_0^{\bar{r}} \xi \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(\bar{r}-\xi)} d\xi + \int_{\bar{r}}^1 \xi \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(\xi-\bar{r})} d\xi - \right. \\ \left. - \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(\bar{r}+\xi)} d\xi \right\} + \frac{(Bi-1)-\sqrt{s}}{2\bar{r}\sqrt{s}(Bi-1+\sqrt{s})} \times \\ \times \left\{ \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(2+\bar{r}-\xi)} d\xi - \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) e^{-\sqrt{s}(2-\bar{r}-\xi)} d\xi \right\}. \quad (45)$$

Соответствующие им окончательные решения краевых задач в области оригиналов будут иметь следующий вид:

- пластина:

$$\theta(\bar{x}, Fo) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Fo}} \left\{ \int_0^1 \theta_0(\xi) \exp\left[-\frac{(\bar{x}\pm\xi)^2}{4Fo}\right] d\xi + \int_0^1 \theta_0(\xi) \times \right. \\ \left. \times \exp\left[-\frac{(2\pm\bar{x}-\xi)^2}{4Fo}\right] d\xi \right\} - Bi \exp(Bi^2 Fo) \int_0^1 \theta_0(\xi) \times \\ \times \exp\left[Bi(2\pm\bar{x}-\xi)\right] \text{erfc}\left(\frac{2\pm\bar{x}-\xi}{2\sqrt{Fo}} + Bi\sqrt{Fo}\right) d\xi; \quad (46)$$

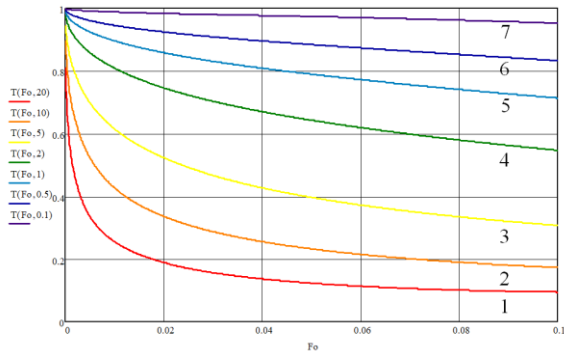


Рис. 1. Изменение безразмерной температуры поверхности пластины в зависимости от значений чисел Био и Фурье при Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1
Fig. 1. Change of the dimensionless temperatures of the surface of a plate depending on the values of the Biot and Fourier numbers at Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1

- цилиндр:

$$\theta(\bar{r}, Fo) = \frac{1}{2\sqrt{\pi Fo}} \int_0^1 \xi \sqrt{2\theta_0(\xi)} \left\{ \exp\left[-\frac{(\bar{r}-\xi)^2}{4Fo}\right] + \exp\left[-\frac{(2-\bar{r}-\xi)^2}{4Fo}\right] \right\} d\xi - \frac{Bi}{\bar{r}} \int_0^1 \xi \sqrt{2\theta_0(\xi)} \exp[Bi(2-\bar{r}-\xi) + Bi^2 Fo] \operatorname{erfc}\left[\frac{(2-\bar{r}-\xi)}{2\sqrt{Fo}} + Bi\sqrt{Fo}\right] d\xi; \quad (47)$$

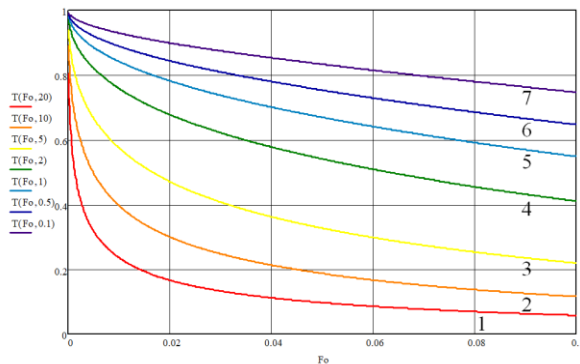


Рис. 2. Изменение безразмерной температуры поверхности цилиндра при Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1
Fig. 2. Change of dimensionless temperature of the surface of a cylinder at Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1

- сфера:

$$\theta(\bar{r}, Fo) = \frac{(\pm)1}{2\bar{r}\sqrt{\pi Fo}} \left\{ \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) \exp\left[-\frac{(\bar{r}\pm\xi)^2}{4Fo}\right] d\xi + \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) \exp\left[-\frac{(2\pm\bar{r}-\xi)^2}{4Fo}\right] d\xi \right\} - (\pm) \frac{(Bi-1)}{\bar{r}} \exp[(Bi-1)^2 Fo] \times \int_0^1 \xi \theta_0(\xi) \exp[(Bi-1)(2\mp\bar{r}-\xi)] \operatorname{erfc}\left[-\frac{2\mp\bar{r}-\xi}{2\sqrt{Fo}} + (Bi-1)\sqrt{Fo}\right] d\xi; \quad (48)$$

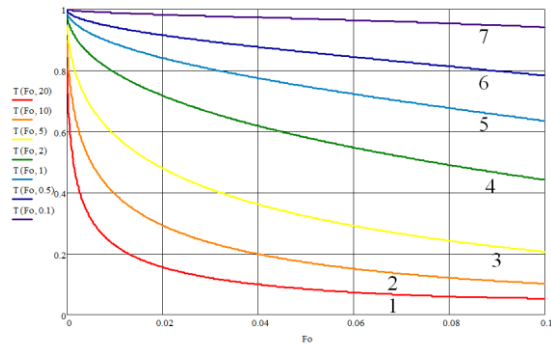


Рис. 3. Изменение безразмерных температур поверхности сферы в зависимости от чисел Био и Фурье при Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1
Fig. 3. Change of dimensionless temperatures of the surface of a sphere depending on the Biot and Fourier numbers at Bi: 1) 20; 2) 10; 3) 5; 4) 2; 5) 1; 6) 0,5; 7) 0,1

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как уже отмечалось выше, решения задач теплопроводности и диффузии для тел, в том числе канонической формы, получают в форме рядов Фурье [2,3,5,6,8-10], что характерно для условий с неравномерным начальным распределением потенциалов переноса теплоты и массы вещества, но решений для малых значений чисел Фурье в источниках не приводится. Вместе с тем, чем меньше время процесса, тем меньше числовые значения критериев Фурье и тем самым больше членов бесконечного ряда, что влечет за собой нарастание ошибки при вычислении.

В работе приведены решения для тел канонической формы - пластины, цилиндра и сферы, также представлены номограммы безразмерной температуры поверхности тела в зависимости от значений чисел Био и Фурье при конкретных значениях числа Bi.

Номограммы позволяют с помощью простых геометрических операций (например, прикладывания линейки) исследовать функциональные зависимости температуры на поверхности тел канонической формы в зависимости от значений чисел Био и Фурье без громоздких вычислений при малых значениях числа Фурье, что способствует исключению ошибок при реализации методов расчета с использованием «зонального» метода [5] и метода «микропроцессов» [4].



ЛИТЕРАТУРА

1. **Федосов С.В., Баканов М.О.** Применение метода «микрпроцессов» для моделирования процессов теплопроводности и диффузии в телах канонической формы. Изв. вузов. Химия и химическая технология. 2020. Т. 63. Вып. 10. С. 90-95.
2. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности. М.: Высшая школа. 1967. 600 с.
3. **Лыков А.В., Михайлов Ю.А.** Теория тепло- и массопереноса. М.-Л.: Госэнергоиздат. 1963. 535 с.
4. **Федосов С.В.** Тепломассоперенос в технологических процессах строительной индустрии. Иваново: ИПК «ПресСто». 2010. 363 с.
5. **Рудобахта С.П., Карташов Э.М.** Диффузия в химико-технологических процессах. М.: КолосС. 2013. 478 с.
6. **Шамин Р.В.** Концентрированный курс высшей математики. М.: URSS. 2017. 398 с.
7. **Мамонтов А.Е.** Методы математической физики: учебное пособие. Новосибирск: НГПУ. 2016. 129 с.
8. **Карташов Э.М., Кудинов В.А.** Аналитические методы теории теплопроводности и ее приложений. М.: URSS. 2018. 1080 с.
9. **Гаврилов В.С., Денисова Н.А., Калинин А.В.** Функции Бесселя в задачах математической физики. Нижний Новгород: Издательство Нижегородского государственного университета. 2014. 40 с.
10. **Кафтанова Ю.В.** Специальные функции математической физики. Харьков: Изд-во «Новое слово». 2009. 596 с.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Принята к опубликованию 21.06.2021

Izdatel'stvo Nizhegorodskogo gosuniversiteta. 2014. 40 p. (in Russian).

10. **Kaftanova Yu.V.** *Special functions of mathematical physics. Popular science edition. Khar'kov.: Izdatel'stvo «Novoe slovo». 2009. 596 p. (in Russian).*

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021

REFERENCES

1. **Fedosov S.V., Bakanov M.O.** Application of the "microprocess" method for modeling the processes of heat conduction and diffusion in bodies of canonical shape. *Izv. vuzov. Himiya i himicheskaya tekhnologiya*. 2020. V. 63. N. 10. P. 90-95 (in Russian).
2. **Lykov A.V.** Heat transfer theory. M.: Vysshaya shkola. 1967. 600 p. (in Russian).
3. **Lykov A.V., Mihajlov Yu.A.** Heat and mass transfer theory. M.-L.: Gosenergoizdat. 1963. 535 p. (in Russian).
4. **Fedosov S.V.** Heat and mass transfer in the technological processes of the construction industry. Ivanovo: IPK «PresSto». 2010. 363 p. (in Russian).
5. **Rudobashta S.P., Kartashov E.M.** Diffusion in chemical engineering processes. M.: KolosS. 2013. 478 p.
6. **Shamin R.V.** Concentrated course of higher mathematics. M.: URSS. 2017. 398 p. (in Russian).
7. **Mamontov A.E.** Methods of Mathematical Physics. Novosibirsk: NGPU. 2016. 129 p. (in Russian).
8. **Kartashov E.M., Kudinov V.A.** Analytical methods of the theory of heat conduction and its applications. M.: URSS. 2018. 1080 p. (in Russian).
9. **Gavrilov V.S., Denisova N.A., Kalinin A.V.** Bessel functions in problems of mathematical physics. Nizhnij Novgorod:



УДК 66.047

МАССОПРОВОДНОСТЬ ПРИ СУШКЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

С.П. Рудобашта

Станислав Павлович Рудобашта

Кафедра теплотехники, гидравлики и энергообеспечения предприятий, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева, ул. Тимирязевская, 49, Москва, Российская Федерация, 127550

E-mail: rudobashta@mail.ru



Рассмотрены классы непористых, капиллярно-пористых и коллоидных капиллярно-пористых материалов, как объектов сушки, применяемых в строительстве. Проанализированы особенности внутреннего массопереноса в них. Отмечено, что основным коэффициентом внутреннего массопереноса является коэффициент массопроводности (коэффициент диффузии влаги). Отмечено, что при сушке он существенно зависит не только от температуры, но и от влагосодержания материала. Расчет кинетики сушки материалов с использованием этого коэффициента требует учета этих зависимостей. Отсутствие данных по коэффициенту массопроводности затрудняет применение математических методов расчета кинетики сушки на основе решений дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности. Указано, что разработка зонального метода определения концентрационной зависимости этого коэффициента существенно облегчило накопление данных по нему. Приведены примеры экспериментальных данных по коэффициенту массопроводности при сушке материалов разных классов. Обсуждены вопросы кинетического расчета процесса сушки материалов на основе теоретических математических моделей – аналитических и численных, предполагающих использование данных по теплофизическим характеристикам материалов. Указано, что математические методы в настоящее время вышли на первый план в связи с общим развитием теории сушки, накоплением данных по коэффициенту массопроводности, повсеместным распространением персональных компьютеров и развитием эффективных вычислительных комплексов. Для расчета кинетики сушки материалов, имеющих правильную геометрическую форму, рекомендован зональный метод, основанный на решениях линейных дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности, применимых в узких диапазонах изменения влагосодержания материала – как простой в применении и обеспечивающий достаточную для инженерных целей точность.

Ключевые слова: сушка, классы высушиваемых материалов, массопроводность, кинетический расчет

Для цитирования:

Рудобахта С.П. Массопроводность при сушке строительных материалов. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 16-22 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_16



UDC 66.047

MASS CONDUCTIVITY DURING DRYING OF BUILDING MATERIALS

S.P. Rudobashta

Stanislav P. Rudobashta

*Department of Heat Engineering, Hydraulics and Power Supply of Enterprises, Russian State Agrarian University –
Timiryazev Moscow Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya st., Moscow, Russia, 127550*

E-mail: rudobashta@mail.ru



The paper considers classes of nonporous, capillary-porous and colloidal capillary-porous materials as drying objects used in construction. The specific aspects of internal mass transfer in them are analyzed. It is noted that the main coefficient of internal mass transfer is the coefficient of mass conductivity (moisture diffusion coefficient). It is noted that during drying, it significantly depends not only on the temperature, but also on the moisture content of the material. The drying dynamics of materials using this coefficient should be calculated by taking into account these dependencies. The lack of data on the mass conductivity coefficient makes it difficult to apply mathematical methods for calculating the drying kinetics based on solutions of the differential equations of mass and heat conductivity. It is indicated that the development of a zonal method for determining the concentration dependence of this coefficient significantly facilitated the accumulation of data on it. The paper gives examples of experimental data on the mass conductivity coefficient for drying materials of different classes. It also discusses the issues of kinetic calculation of the drying process of materials on the basis of theoretical mathematical models-analytical and numerical, involving the use of data on the thermophysical characteristics of materials. It is indicated that mathematical methods have now come to the fore in connection with the general development of the drying theory, the accumulation of data on the mass conductivity coefficient, the ubiquity of personal computers and the development of efficient computing systems. To calculate the drying kinetics of materials with the correct geometric shape, the zonal method is recommended, based on solutions of linear differential equations of mass and heat conductivity, applicable in narrow ranges of changes in the moisture content of the material-as easy to use and providing sufficient accuracy for engineering purposes.

Key words: *drying, classes of dried materials, mass conductivity, kinetic calculation*

For citation:

Rudobashta S.P. Mass conductivity during drying of building materials. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 16-22 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_16



ВВЕДЕНИЕ

Сушка широко применяется в различных технологиях, в том числе в строительстве, где сушке подвергаются изделия из бетона, гипса, древесины, полимеров – как при их получении, так и на стадии эксплуатации.

В соответствии с современными представлениями все высушиваемые материалы подразделяются на три класса: 1) непористые (большинство полимеров, высушиваемых от внутренней влаги), 2) капиллярно-пористые – материалы с капиллярными порами, стенки которых не проницаемы для влаги, и 3) коллоидные капиллярно-пористые материалы – материалы с капиллярными порами, стенки которых проницаемы для влаги [1]. В непористых материалах (полимерах) молекулы воды разобцены (вода растворена в полимере по механизму абсорбции) и ее перенос происходит путем активированной молекулярной диффузии молекул воды через матрицу полимера. В капиллярно-пористых материалах перенос влаги происходит в порах материала в жидкой и паровой фазах под действием ряда механизмов. Строительные материалы неорганической природы, такие как изделия из бетона и двудводного гипса, являются типичными представителями капиллярно-пористых материалов. Кристаллоидратная влага, содержащаяся в бетоне и двудводном гипсе, в процессе сушки не удаляется. К коллоидным капиллярно-пористым материалам относятся все материалы растительного и животного происхождения (они имеют клеточную структуру и содержат иммобилизованную клетками влагу), а также многие пищевые материалы (например, макароны). К строительным коллоидным капиллярно-пористым материалам относится древесина.

Класс материала и формы связи влаги с материалом накладывают свой отпечаток на внутренний массоперенос, который проявляется в величине коэффициента массопроводности и его температурной и концентрационной зависимостях.

Цель данной работы – проанализировать коэффициент массопроводности при сушке строительных материалов разного класса на основе экспериментальных работ, выполненных, в основном автором с сотрудниками, а также проанализировать кинетический расчет процесса сушки с его применением.

КОЭФФИЦИЕНТ МАССОПРОВОДНОСТИ ПРИ СУШКЕ НЕПОРИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ (ПОЛИМЕРОВ)

В современном строительстве широко применяют изделия из различных полимеров, которые часто производят из расплава полимерного гранулята на литъевых и шприцевых машинах. При этом полимерный гранулят перед переработкой в изделия должен быть тщательно высушен до низких значений остаточного влагосодержания (порядка 10^{-4} кг/(кг сух. м-ла) – во избежание появления брака в изделиях в виде пузырей, вздутий и т.д. Как показали исследования, гранулы полимеров представляют собой непористые материалы, глубокая сушка которых характеризуется рядом особенностей [1,3]: 1) процесс полностью контролируется внутренней диффузией, 2) вследствие намного большей инерционности поля влагосодержаний по сравнению с полем

температур (число $Lu = D/a \ll 1$) гранулы полимера очень быстро прогреваются до температуры контактирующего с ним сушильного агента, поэтому в окрестности высушиваемой гранулы ее температура и контактирующего с ней сушильного агента практически одинаковы (балансовая задача по теплоте, 3) конечное влагосодержание материала соизмеримо с равновесным влагосодержанием, поэтому требуется его точное задание для обеспечения требуемой точности кинетического расчета, 4) гранулы полимеров имеют достаточную правильную геометрическую форму (сфера, ограниченный цилиндр, прямоугольный параллелепипед), что делает целесообразным применение для кинетического расчета аппарата дифференциального уравнения массопроводности.

В связи с этим были проведены систематические исследования коэффициента массопроводности (коэффициента диффузии влаги) практически для всех промышленно выпускаемых гранулированных полимеров, результаты которых отражены в [1, 3-8]. Большинство из этих исследований проводилось на специально созданной для этих целей установке, описанной в [9]. Для определения концентрационной зависимости коэффициента массопроводности (в данном случае эффективного коэффициента молекулярной диффузии) был использован зональный метод, который впервые был опубликован в [10], а затем использовался во многих работах [1, 4-9].

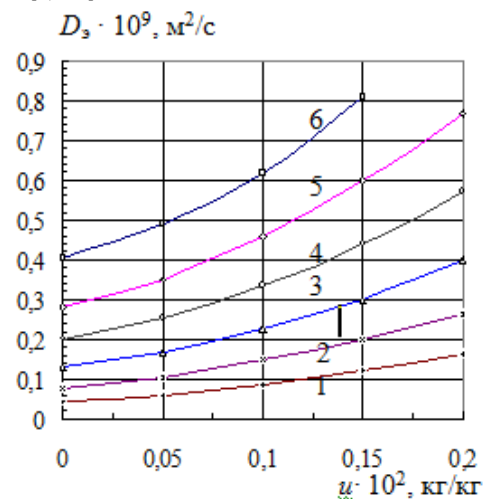


Рис. 1. Зависимости $D_e = f(u)$ при сушке полипропилена [5]: 1 – 50 °C; 2 – 70 °C; 3 – 90 °C; 4 – 110 °C; 5 – 130 °C; 6 – 150 °C

Fig. 1. Dependences of $D_e = f(u)$ when drying polypropylene [5]: 1 – 50 °C; 2 – 70 °C; 3 – 90 °C; 4 – 110 °C; 5 – 130 °C; 6 – 150 °C

Как показали эти исследования, эффективный коэффициент молекулярной диффузии влаги в полимере D_e при сушке существенно зависит от влагосодержания материала, которую необходимо учитывать при расчете кинетики сушки. На рис. 1 в качестве примера показаны концентрационные зависимости коэффициента молекулярной диффузии при сушке полиэтилена, зависимости $D_e = f(u)$ для остальных полимеров аналогичны.

Температурная зависимость коэффициента диффузии D_e хорошо описывается уравнением Аррениуса, это



показывает, что миграция молекул воды в полимерах происходит по механизму активированной молекулярной диффузии.

КОЭФФИЦИЕНТ МАССОПРОВОДНОСТИ ПРИ СУШКЕ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Типичным представителем капиллярно-пористых строительных материалов является двухводный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), который образуется при затворении водой полуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$) в процессе изготовления изделия из него (см., например, [11]). Поры материала в гипсовом камне заполнены водой, которая удаляется путем ее испарения в последующем процессе сушки. Отливки из гипса используются в качестве строительного материала, а также при декоративном оформлении зданий и сооружений. В [12] исследовали массопроводность при сушке образцов из двухводного гипса – путем экспериментального определения в различные моменты времени распределения влагосодержания по длине гипсового стержня, влагоизолированного с боковой поверхности и высушиваемого с торцов. Из полученных кривых распределения влагосодержания $u = f(x)$ по уравнению массопроводности

$$i = -k\rho_0 \frac{\partial u}{\partial x}, \quad (1)$$

где i – плотность потока влаги через образец, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с})$; k – коэффициент массопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, $\text{кг}/\text{м}^3$; x – координата, направленная вдоль оси стержня, м определяли концентрационную зависимость коэффициента массопроводности $k = f(u)$. При этом из-за интенсивного притока теплоты через влагоизолированную боковую поверхность образца он интенсивно прогревался, и его температура практически была равна температуре сушильного агента (изотермические условия сушки).

Было показано, что уравнение массопроводности выполняется. В результате проведения исследований при различных температурах были получены температурно-концентрационные зависимости коэффициента массопроводности, имеющие следующий вид:

- для влагосодержания материала ниже $0,068 \text{ кг}/(\text{кг сух. м-ла})$

$$k = \frac{3,3 \cdot 10^{-9} (T/T_0)^{10,6} \varepsilon^{0,9}}{1 - 11,7u}, \quad (2)$$

- для влагосодержания материала выше $0,068 \text{ кг}/(\text{кг сух. м-ла})$

$$k = 3,3 \cdot 10^{-5} u^{2,72} (T/T_0)^{6,3} \varepsilon^{0,9}, \quad (3)$$

где T – температура в К; $T_0 = 273 \text{ К}$; ε – пористость материала, $\text{м}^3/\text{м}^3$.

При сушке капиллярно-пористых материалов внутренний массоперенос осуществляется как в жидкой, так и паровой фазе в результате действия ряда механизмов массопереноса, причем вклад каждого из них в ходе сушки непрерывно меняется [1, 2]. Е. Wicke и R. Kallenbach выделили (1941 г.) следующие четыре вида изотермического массопереноса в

порах: свободную диффузию в газовой фазе, кнудсеновскую (или стесненную) диффузию, поверхностную диффузию и твердотельную диффузию. Последняя происходит тогда, когда диаметр поры настолько мал, что потенциальные поля противоположных стенок пор перекрываются. Позднее [2, 13] было показано, что в порах материала при сушке имеет место капиллярная массопроводность (тонкие поры высасывают влагу из более широких капилляров и транспортируют ее к поверхности). Н.В. Чураев далее в целом ряде работ показал (см., например, [14]), что влага в порах высушиваемого материала перемещается также под действием градиента расклинивающего давления пленки жидкости. Сложное сочетание различных видов массопереноса обуславливает величину и концентрационную зависимость коэффициента массопроводности при сушке капиллярно-пористого материала.

При сушке, рассматривая совместный перенос влаги в паровой и жидкой фазах в порах материала, их сводят (с использованием изотермы фазового концентрационного равновесия) к единой движущей силе – градиенту влагосодержания ($grad u$), в результате чего паросоставляющая коэффициент массопроводности $k_{\text{пар}}$ становится зависящей также от производной $\frac{\partial C_{\text{п}}}{\partial u}$: $k_{\text{пар}} = D_{\text{пар}} \frac{\partial C_{\text{п}}}{\partial u}$, где $D_{\text{пар}}$ – коэффициент диффузии пара; $C_{\text{п}}$ – концентрация пара в порах материала. Согласно О. Кришеру [13] в области больших влагосодержаний основным механизмом массопереноса в капиллярно-пористых материалах является капиллярная массопроводность, а в области низких – диффузия пара. Коэффициент диффузии водяного пара $D_{\text{пар}}$ пропорционален $T^{1,81}$ [13], значительно более высокой степени в своей температурной зависимости коэффициент массопроводности в уравнении (2) обязан производной $\frac{\partial C_{\text{п}}}{\partial u}$.

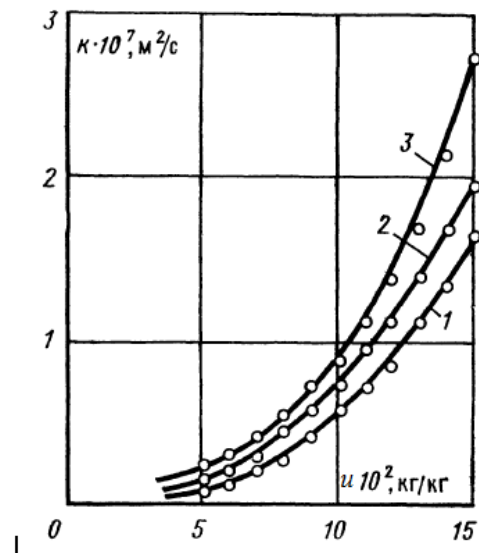


Рис. 2. Влияние пористости на массопроводность при сушке двухводного гипса ($t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$):
1 - $\varepsilon = 0,39 \text{ м}^3/\text{м}^3$; 2 - $0,46 \text{ м}^3/\text{м}^3$; 3 - $0,50 \text{ м}^3/\text{м}^3$
Fig. 2. Effect of porosity on mass conductivity during drying of two-water gypsum ($t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$):
1 - $\varepsilon = 0,39 \text{ m}^3/\text{m}^3$; 2 - $0,46 \text{ m}^3/\text{m}^3$; 3 - $0,50 \text{ m}^3/\text{m}^3$



На рис. 2 показано влияние пористости на коэффициент массопроводности при сушке образцов двуводного гипса. Пористость материала изменяли за счет изменения удельного количества воды при затворении полуводного гипса. Как видно из рисунка, с увеличением пористости коэффициент массопроводности возрастает. Одновременно рис. 2 иллюстрирует общий характер зависимостей $k = f(u)$, для данного капиллярно-пористого материала, которые представляют собой вогнутые монотонно возрастающие линии.

Большое влияние на коэффициент массопроводности при сушке капиллярно-пористого материала оказывает также размер пор. Учитывая разный механизм переноса газообразного вещества в порах, капиллярные поры в теории сушки делят: 1) на микрокапилляры (радиус пор $\tilde{r} < 10^{-7}$ м) и 2) макрокапилляры (радиус пор $\tilde{r} > 10^{-7}$ м) [1, 2]. Соответственно, материалы с радиусом пор $\tilde{r} < 10^{-7}$ м называют микрокапиллярно-пористыми, с радиусом пор $\tilde{r} > 10^{-7}$ м – макрокапиллярно-пористыми и с радиусом пор $\tilde{r} > 10^{-5}$ м – грубопористыми. Измерения, выполненные методом ртутной порометрии, показали, что в обсуждаемых образцах двуводного гипса пористостью $0,392 \text{ м}^3/\text{м}^3$ определяющий радиус пор был равен $\tilde{r} = 0,49$ мм. В таких капиллярах основная доля влаги перемещается в виде жидкости. Из сравнения рис. 1 и 2 видно, что коэффициент массопроводности при сушке капиллярно-пористых материалов с макрокапиллярами на два порядка больше, чем при сушке непористых материалов.

Приведенный анализ показывает, что из-за совместного действия различных механизмов массопереноса коэффициент массопроводности при сушке капиллярно-пористого материала сложным образом зависит от температуры и влагосодержания материала. Для обеспечения достаточной точности кинетического расчета процесса сушки на основе решения дифференциального уравнения массопроводности необходимо учитывать температурную и концентрационную зависимости коэффициента массопроводности – на основе экспериментальных данных.

КОЭФФИЦИЕНТ МАССОПРОВОДНОСТИ ПРИ СУШКЕ КОЛЛОИДНЫХ КАПИЛЛЯРНО-ПОРИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

К числу высушиваемых коллоидных капиллярно-пористых строительных материалов относится древесина – в форме досок, брусьев, различных фасонных деталей. Тела из древесины имеют обычно правильную геометрическую форму, что позволяет рассчитывать кинетику их сушки на основе решений дифференциальных уравнений тепло- и массопроводности. Основным коэффициентом, отвечающим за внутренний массоперенос, является коэффициент массопроводности (диффузии влаги). Его определение было начато в 20-х годах XX века. Укажем последовательно основные наиболее ранние работы, посвященные его определению: Stillwell (1926 г.), Martley (1926 г.), А.В. Лыков (1933 г.), Ludwig (1933 г.), К. Egner (1933 г.), Н. Schauss (1940 г.). Наиболее полные данные по массопроводности древесины получены П.С. Серговским (1953 г.) [15]. Древесина характеризуется анизотропией свойств: в ней массопроводность в осевом направлении на порядок выше, чем в радиальном и тангенциальном, что показал еще К. Egner. При сушке коллоидных

капиллярно-пористых материалов, в отличие от капиллярно-пористых, добавляется осмотический перенос влаги, который накладывает свой отпечаток на концентрационную зависимость коэффициента массопроводности.

На рис. 3 показана зависимость $k = f(u)$ [2] для древесины. Как видно, коэффициент массопроводности при сушке древесины имеет тот же порядок, что и при сушке непористых полимеров. Согласно А.В. Лыкову [2], сложный характер зависимости коэффициента массопроводности (коэффициента диффузии влаги) коллоидных капиллярно-пористых материалов типа древесины от влагосодержания объясняется изменением с влагосодержанием доминирующего механизма внутреннего массопереноса в процессе сушки. В области малых влагосодержаний – до точки максимума на кривых $k = f(u)$ у коллоидных капиллярно-пористых материалов типа древесины доминирующим массопереносом по А.В. Лыкову является осмотический перенос влаги, а при больших влагосодержаниях (на ниспадающей правой ветви зависимости $k = f(u)$ после точки максимума) – диффузия пара. При весьма больших влагосодержаниях материала имеет место капиллярная массопроводность. Этот участок зависимости $k = f(u)$ наблюдается у древесины при $u > 1$ (см. рис. 3).

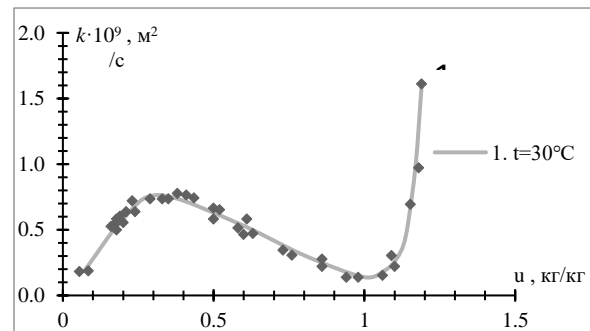


Рис. 3. Зависимость $k = f(u)$ для древесины (сосна) при $t = 30$ °C [2]

Fig. 3. Dependence of $k = f(u)$ for wood (pine) at $t = 30$ °C [2]

ОПИСАНИЕ ВНУТРЕННЕГО ВЗАИМОСВЯЗАННОГО ТЕПЛОМАССОПЕРЕНОСА ПРИ СУШКЕ

Внутренний тепломассоперенос при сушке при температурах материала менее 100 °C описывается следующей системой взаимосвязанных дифференциальных уравнений А.В. Лыкова (фильтрационный массоперенос, происходящий под действием общего перепада давлений, происходит при температурах материала более 100 °C, что нетипично для сушки строительных материалов, поэтому здесь не приводится):

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div} [k(u, t)(\text{grad} u + \delta_t(u, t) \text{grad} t)], \quad (4)$$

$$c\rho_0 \frac{\partial t}{\partial t} = \text{div} (\lambda(u, t) \text{grad} t) + q\rho_0 \frac{\partial u}{\partial t}, \quad (5)$$

где u – локальное влагосодержание в высушиваемом теле, кг/(кг сух. м-ла); t – температура, °C; τ – время, с; k – коэффициент массопроводности (диффузии влаги), м²/с; δ_t – относительный коэффициент термовлагопроводности,



$1/K$; c – массовая теплоемкость, Дж/(кг К); ρ_0 – плотность абсолютно сухого материала, кг/м³; λ – коэффициент теплопроводности материала, Вт/(м К); $q = \varepsilon^* r^*$ – действующий внутри тела источник внутренних фазовых превращений, Дж/(м³ К); ε^* – локальный критерий внутренних фазовых превращений, кг/кг; r^* – теплота парообразования, включая теплоту десорбции влаги, Дж/кг.

Как видно из уравнений (4), (5), в общем случае для расчета кинетики сушки тела по этим уравнениям требуются данные по шести теплофизическим характеристикам: k , δt , ρ_0 , λ , ε^* , r^* , первые пять из которых требуют специального определения. При не очень жестких температурных режимах термовлагодисперсностью можно пренебречь. Таким образом, основными коэффициентами внутреннего массотеплопереноса являются коэффициент массопроводности k , коэффициент теплопроводности λ , объемная теплоемкость ρ_0 и локальный критерий внутренних фазовых превращений ε^* . Отсутствие данных по этим коэффициентам, особенно по коэффициенту массопроводности, вынуждают применять различные полумпирические кинетические уравнения.

При сушке непористых материалов (полимеров), как отмечено выше, задача теплообмена является балансовой, поэтому при расчете кинетики сушки использование уравнения (5) не требуется, градиенты влагосодержания в теле весьма низки и, следовательно, вклад термовлагодисперсности в поток влаги пренебрежимо мал. В этом случае уравнение (4) трансформируется в следующее дифференциальное уравнение диффузии влаги:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \text{div}[D(u, t)(\text{gradu})] \quad (6)$$

где D – коэффициент молекулярной диффузии, м²/с. Уравнение (6) – нелинейное, его решения имеются только для некоторых частных случаев.

В [16] был разработан универсальный зональный метод расчета кинетики массопередачи в системах с твердой фазой, основанный на решении линеаризованного уравнения (6) ($D = \text{const}$) при постоянных параметрах внешней среды, который был использован для расчета аппаратов (в том числе сушилок) разного типа [1]. Соответствующие решения для тел разной формы приведены в [1]. Расчет проводится по формулам регулярного режима, когда в решении сохраняется один член ряда. Расчетная формула имеет вид

$$\tau_i = \frac{R_i^2}{\mu_i^2 D_i} \ln \frac{B_i}{E_i}, \quad (7)$$

где i – номер концентрационной зоны; B_i – параметр, согласно [1] равный: $B_{1,i} \gamma_i$; $B_{1,i+1}$ – первый предэкспоненциальный множитель в решении задачи массопроводности, в котором принято равномерное начальное распределение влагосодержания в теле; γ_i – коэффициент, учитывающий изменение начальной концентрации при переходе от зоны « $i - 1$ » к i -той зоне при $i > 1$; μ_i – первый положительный корень в характеристическом решении задачи массопроводности.

Общая необходимая продолжительность сушки равна

$$\tau = \sum_{i=1}^n \tau_i, \quad (8)$$

где n – число концентрационных зон.

При расчете кинетики сушки капиллярно-пористых и коллоидных капиллярно-пористых материалов необходимо параллельно рассчитывать кинетику нагрева тела, чтобы иметь возможность учитывать влияние переменной температуры на коэффициент массопроводности и рассчитывать термовлагодисперсность. Термовлагодисперсностью, однако, при температурах материала ниже 100 °С можно пренебречь. Внутренний источник теплоты в этих расчетах задать не представляется возможным из-за отсутствия информации по локальному критерию внутренних фазовых превращений, который сложным образом изменяется в процессе сушки (чем меньше радиус пор, тем меньше его роль). В расчетах, поэтому, обычно принимают, что фазовые превращения происходят у поверхности тела. В [1] получены соответствующие решения для пластины, цилиндра и шара для случая постоянной температуры внешней среды, которые используют при применении зонального метода расчета. В этих решениях граничное условие теплообмена задают в виде

$$\lambda \frac{\partial t(x)}{\partial x} \Big|_{x=R} = \alpha [t_c - t(x)|_{x=R}] - r^* \cdot i(\tau), \quad x = R, \quad (9)$$

где $i(\tau) = -\frac{d\bar{u}}{d\tau} R_V \rho_0$ – интенсивность сушки, кг/(м²/с; \bar{u} – среднееобъемное влагосодержание тела, кг/(кг сух м-ла); R_V/R – отношение объема тела к его поверхности, м; α – коэффициент теплоотдачи; Вт/(м²/с); t_c – температура внешней среды, °С; x – декартова или радиальная координата, м; R – половина толщины пластины, радиус цилиндра или шара, м.

При конвективной сушке первое слагаемое правой части уравнения (9) задает поступление тепла к поверхности тела за счет теплоотдачи, а второе слагаемое правой части – сток этого тепла на испарение влаги. Разница между ними идет на нагрев тела (левая часть уравнения (9)).

Расчет кинетики сушки на основе уравнений (4) и (5) требует данных по всем теплофизическим характеристикам, впервые такой расчет был выполнен в [17] применительно к сушке гранулированного альтакса (капиллярно-пористый материал) в ленточной сушилке. В последующем расчет кинетики сушки на основе дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности применялся во многих работах. Были развиты эффективные программные комплексы (например, Ansys, Mathcad и др.), позволяющие рассчитывать кинетику сушки путем интегрирования нелинейных дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности (4) и (5).

Дифференциальные уравнения массо- и теплопроводности применяются не только для расчета кинетики сушки, но и для анализа полей влагосодержаний и температур в материале. Примером могут служить совместные работы С.В. Федосова и В.Г. Котлова по анализу температурных и влажностных полей в древесине в районе нагельных соединений – на основе решений дифференциальных уравнений тепло- и массопроводности с применением расчетов, выполненных «методом микропроцессов» [18].



ВЫВОДЫ

1) Экспериментальные данные показывают, что массопроводность в строительных материалах при их сушке в большой степени зависит от того, к какому классу он относится: к классу непористых, капиллярно-пористых или коллоидных капиллярно-пористых материалов.

2) Каждому классу материалов присущи свои концентрационные и температурные зависимости коэффициента массопроводности.

3) Коэффициент массопроводности существенно зависит от влагосодержания материала, для получения адекватной математической модели кинетики сушки необходимо учитывать не только температурную, но и концентрационную зависимость коэффициента массопроводности.

4) В настоящее время общее развитие теории сушки и методов математического моделирования, повсеместное распространение персональных компьютеров, накопление данных по теплофизическим характеристикам материалов, в том числе по коэффициенту массопроводности, наличие эффективным программных комплексов обусловили практическую возможность и целесообразность расчета кинетики сушки строительных и других материалов на основе теоретических методов, предполагающих интегрирование дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности.

5) Для расширения практического применения этих методов в инженерной практике необходимо дальнейшее накопление данных по теплофизическим характеристикам материалов и, в первую очередь, по коэффициенту массопроводности, данные по которому наиболее ограничены.

6) Для получения температурно-концентрационных зависимостей коэффициента массопроводности при сушке различных материалов рекомендуется использовать зональный метод как наиболее приемлемый в практическом отношении.

Расчеты на основе решений дифференциальных уравнений массо- и теплопроводности в настоящее время используются не только для расчета кинетики сушки, но и для анализа процессов массо- и теплопереноса в строительных конструкциях, например, в древесных конструкциях с нагельными соединениями.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Рудобашта С.П.** Массоперенос в системах с твердой фазой. М.: Химия. 1980. 248 с.
2. **Лыков А.В.** Теория сушки. 2-е изд. перераб. и доп. М.: Энергия. 1968. 422 с.
3. **Kast W., Rudobashta S.P., Planovski A.N.** Trocknung von Polyamid. Chemie-Ing.-Techn. 1976. 48. Jahrgang. Heft 7. P. 657.
4. **Rudobashta S.P.** Polymeric materials drying. Proc. International Symposium on Manufacturing and Materials Processing. August 27-31. 1990. V. 1. Dubrovnik. Yugoslavia. 1990. P. 661-678.
5. **Рудобашта С.П., Дмитриев В.М.** Кинетика и аппаратурно-технологическое оформление конвективной сушки дисперсных полимерных материалов. Инж.-физ. журнал. 2005. Т. 78. № 3. С. 51-60.
6. **Рудобашта С.П., Карташов Э.М.** Химическая технология: диффузионные процессы. В 2 ч. Ч. 2. 3-е изд. перераб. и доп. М.: 2018. 296 с.
7. **Рудобашта С.П., Карташов Э.М.** Диффузия в химико-технологических процессах. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Химия. 2010. 479 с.
8. **Климов А.М., Рудобашта С.П., Тепляков Ю.А., Нечаев В.М.** Кинетические закономерности при сушке полимеров с изменяющейся структурой. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2011. Т. 16. № 6-1. С. 1474-1477.
9. **Дмитриев В.М., Рудобашта С.П., Кормильцин Г.С., Воробьев А.М.** Установка для определения коэффициентов диффузии влаги в зернистых материалах. Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. 2001. Т. 6. № 4. С. 424-427.
10. **Очнев Э.Н., Рудобашта С.П., Плановский А.Н., Дмитриев В.М.** Зональный метод определения зависимости коэффициента массопроводности от концентрации. Теор. основы хим. технологии. 1975. Т. IX. № 4. С. 491-495.
11. Бориславский В.Т., Горина С.С., Ольшанский Д.Я., Очнев Э.Н., Рудобашта С.П. А.С. 423765 СССР. Б.И. 1974.
12. **Кормильцин Г.С., Плановский А.Н., Рудобашта С.П.** Сравнение коэффициентов массопроводности при сушке в стационарных и нестационарных условиях. Теор. основы хим. технологии. 1971. Т. 5. № 4. С. 593-595.
13. **Krischer O.** Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1956.
14. **Чураев Н.В.** Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах. Докл. АН СССР. 1963. Т. 148. № 6. С. 1361-1364.
15. **Сергеевский П.С.** Расчет процессов высыхания и увлажнения древесины. М.: Гослегбумиздат. 1952.
16. **Рудобашта С.П., Плановский А.Н., Очнев Э.Н.** Зональный метод расчета непрерывнодействующих массообменных аппаратов для систем с твердой фазой. Теор. основы хим. технологии. 1974. Т. 8. № 1. С. 22-29.
17. **Рудобашта С.П., Плановский А.Н., Долгунин В.Н.** Зональный расчет кинетики сушки гранулированного материала в плотном продуваемом слое на основе решений уравнений массо- и теплопереноса. Теор. основы хим. технологии. 1978. Т. 12. № 2. С. 173-183.
18. **Федосов С.В., Котлов В.Г.** Динамика тепло- и массопереноса в деревянных конструкциях, связанных металлическими креплениями. Технология сушки. Международный журнал. 2019. С. 1-8.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Принята к опубликованию 21.06.2021



REFERENCES

1. **Rudobashta S.P.** Mass transfer in solid phase systems. Moscow: Khimiya. 1980. 248 p. (in Russian).
2. **Lykov A.V.** Drying theory. Ed. 2-rd. ref. and add. Moscow: Energy. 1968. 422 p. (in Russian).
3. **Kast W., Rudobashta S.P., Planovski A.N.** Trocknung von Polyamid. Chemie-Ing.-Techn. 1976. 48. Jahrgang. Heft 7. P. 657.
4. **Rudobashta S.P.** Polymeric materials drying. Proc. International Symposium on Manufacturing and Materials Processing. August 27-31. 1990. V. 1. Dubrovnik. Yugoslavia. 1990. P. 661-678.
5. **Rudobashta S.P., Dmitriev V.M.** Kinetics and apparatus-technological design of convective drying of dispersed polymeric materials. Inzh.-Phys. Journal. 2005. V. 78. N 3. P. 51-60 (in Russian).
6. **Rudobashta S.P., Kartashov E.M.** Chemical technology: diffusion processes. In 2. Part 2. 3-rd ed. trans. and add. Moscow. 2018. 296 p. (in Russian).
7. **Rudobashta S.P., Kartashov E.M.** Diffusion in chemical engineering processes. 2-rd ed. trans. and add. Moscow: Khimiya. 2010. 479 p. (in Russian).
8. **Klimov A.M., Rudobashta S.P., Teplyakov Yu. A., Nechaev V.M.** Kinetic patterns during drying of polymers with a changing structure. Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences. 2011. V. 16. N 6-1. P. 1474-1477 (in Russian).
9. **Dmitriev V.M., Rudobashta S.P., Kormiltsin G. S., Boroboyov A.M.** Installation for determining the coefficients of moisture diffusion in granular materials. Bulletin of the Tambov University. Series: Natural and technical sciences. 2001. V. 6. N 4. P. 424-427 (in Russian).
10. **Ochnev E.N., Rudobashta S.P., Planovski A.N., Dmitriev V.M.** Zonal method for determining the dependence of the mass conductivity coefficient on concentration. Theor. Fund. of Chem. Technol. 1975. V. IX. N 4. P. 491-495 (in Russian).
11. **Borislavsky V.T., Gorina S.S., Olshansky D.Ya., Ochnev E.N., Rudobashta S.P.** USSR Inventors certificate 423765. 1974 (in Russian).
12. **Kormiltsin G. S., Planovski A.N., Rudobashta S.P.** Comparison of mass conductivity coefficients during drying in stationary and non-stationary conditions. Theor. Fund. of Chem. Technol. 1971. V.5. N 4. P. 593-595 (in Russian).
13. **Krischer O.** Die wissenschaftlichen Grundlagen der Trocknungstechnik. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer-Verlag. 1956.
14. **Churaev N.V.** The mechanism of moisture transfer in capillary-porous bodies. Reports Academy of Sciences of the USSR. 1963. V. 148. N 6. P. 1361-1364 (in Russian).
15. **Sergievsky P.S.** Calculation of the processes of drying and moistening wood. M.: State Legbumizdat. 1952 (in Russian).
16. **Rudobashta S.P., Planovski A.N., Ochnev E.N.** Zonal method for calculating continuous mass transfer apparatus for systems with a solid phase. Theor. Fund. of Chem. Technol. 1974. V. 8. N 1. P. 22-29 (in Russian).
17. **Rudobashta S.P., Planovski A.N., Dolgunin V.N.** Zonal calculation of the kinetics of drying of granular material in a dense blown layer based on solutions of the equations of mass and heat transfer. Theor. Fund. of Chem. Technol. 1978. V. 12. N 2. P. 173-183 (in Russian).
18. **Fedosov S.V., Kotlov V.G.** Dynamics of heat and mass transfer in wooden structures connected by metal fasteners. Drying Technology. International journal. 2019. P. 1-8 (in Russian).

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021



УДК 666.973

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НЕАВТОКЛАВНОГО ЗОЛЬНОГО ПОРИЗОВАННОГО БЕТОНА

В.В. Белов, Т.Р. Баркая

Владимир Владимирович Белов

Кафедра производства строительных изделий и конструкций, Тверской государственный технический университет, наб. Аф. Никитина, 22, Тверь, Российская Федерация, 170026

E-mail: vladim-bel@yandex.ru

Темур Рауфович Баркая

Кафедра конструкций и сооружений, Тверской государственный технический университет, наб. Аф. Никитина, 22, Тверь, Российская Федерация, 170026

E-mail: btrs@list.ru



В работе изложены принципы малоэнергоёмкой технологии неавтоклавного поризованного бетона (НЗПБ) на основе топливной золы. После затворения водой и перемешивания в обычном смесителе сырьевая смесь заливается в формы или опалубку, где вспучивается и затем твердеет в нормальных условиях или с небольшой тепловой обработкой.

Использование НЗПБ с такой же средней плотностью, как у обычных легких бетонов на обжиговых заполнителях, для армированных несущих конструкций может быть оправдано близкими значениями общей пористости и связанными с ними показателями упругих и деформативных свойств, а также аналогичными условиями работы арматуры в этих изделиях. В то же время по сравнению с газозолобетонами НЗПБ выгодно отличаются большей стабильностью свойств при изготовлении, меньшим расходом газообразующих добавок, а по сравнению с обычными легкими бетонами – отсутствием дорогостоящих крупных пористых заполнителей.

Определены прочностные и деформативные характеристики НЗПБ как при кратковременных, так и при длительно действующих нагрузках, что является базой для дальнейших исследований применения этого перспективного материала в несущих и ограждающих конструкциях.

Ключевые слова: неавтоклавный газобетон, топливная зола в качестве наполнителя, малоэнергоёмкая технология, прочностные и деформативные характеристики

Для цитирования:

В.В. Белов, Т.Р. Баркая Физико-механические свойства неавтоклавного зольного поризованного бетона. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 23-31 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_23



UDC 666.973

PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NON-AUTOCLAVE ASH POROUS CONCRETE

V.V. Belov, T.R. Barkaya

Vladimir V. Belov

*Department of Construction Products and Structures Production, Tver State Technical University, 22 Af. Nikitin Quay,
Tver, 170026, Russia*

E-mail: vladim-bel@yandex.ru

Temur R. Barkaya

Department of Constructions and Facilities, Tver State Technical University, 22 Af. Nikitin Quay, Tver, 170026, Russia

E-mail: btrs@list.ru



The work describes the principles of low-energy technology of non-autoclave porous concrete (NAPC) based on fuel ash. After closing with water and mixing in a conventional mixer, the feed mixture is poured into molds or formwork, where it swells and then solidifies under normal conditions or with little heat treatment.

The use of NAPC with the same average density as conventional light concretes on roasting aggregates for reinforced bearing structures can be justified by the close values of the total porous steel and the associated elastic and deformative properties, as well as similar working conditions of reinforcement in these products. At the same time, compared to gas-ozone concrete, NAPC is advantageously characterized by greater stability of properties during manufacture, lower consumption of ha-z-forming additives, and compared to conventional light concrete – the absence of expensive large porous aggregates.

Strength and deformation characteristics of NAPC are determined both at short-term and long-term active loads, which is the basis for further research on the use of this per-special material in bearing and enclosing structures.

Key words: *non-autoclave gas concrete, fuel ash as filler, low-energy technology, strength and deformation characteristics*

For citation:

Belov, V.V., Barkaya, T.R. Physical and Mechanical Properties of Non-Autoclave Ash Porous Concrete. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 23-31 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_23



INTRODUCTION

It is arguably better to use lightweight concrete instead of heavyweight concrete in load-bearing structures because of the reduced load from the dead weight of structures, which provides savings in reinforcement and concrete itself. For large engineering structures and multi-storey buildings, the transition from heavy concrete to structural lightweight concrete makes it possible to reduce the cost of foundation erection [1]. At the same time the reduced concrete density for load-bearing and enclosing structures gives additional heat protection of internal premises and allows for easier operation of the structures themselves, which shows the importance of such materials [2].

Reducing the cost of lightweight concrete structures is possible by not using expensive porous aggregates and as well as porosing concrete mix during the production that leads to a concrete structure unique due to a large number of small closed pores, which in turn leads to the high-water resistance and frost resistance. Methods of porization of concrete mixture based on the use of air-entraining additives such as CNV, as well as blowing agents, with their relatively small consumption do not allow to significantly reduce the density and material intensity of structures, and with a large number of additives, on the one hand, expensive (due to high cost and scarcity of additives themselves), and on the other hand, are characterized by complexity of concrete (foamed concrete technology).

Currently, due to the rising cost of energy resources, there is a strong interest in mineral building materials with high thermal insulation properties. Such materials include non-autoclave porous concrete [3, 4]. The non-autoclave porous concrete interests the manufacturers and researchers with low energy consumption, wastelessness, and environmental friendliness [5]. However, the shrinkage of non-autoclave porous concrete in the process of drying can reach 2-3.5 mm/m. It is significantly influenced by the properties of the interporous partition [6], which are largely determined by the microstructure optimized with fine mineral additives, which ultimately has a positive complex effect on the technology and properties of thermal insulation materials [7]. For example, phosphogypsum additive in the composition of non-autoclave porous concrete plays the role of not only a filler, but also an activator [8]. A decrease in the shrinkage of this material with an increase in the content of mineral additives instead of a portion of cement has been established at the same time [9].

Reinforcement with highly dispersed basalt fibers can compensate the main drawbacks of conventional concrete — low tensile strength and brittleness (insufficient cracking resistance) [10], and, obviously, reduce shrinkage. [11] has investigated and analyzed the following concrete shrinkage reduction methods: use of cement with reduced heat dissipation, steel fibers, polypropylene fibers with their pre-moistening, lightweight aggregate pre-saturated with water. Notably, when natural lightweight aggregate with grain size of 2-4 mm pre-saturated with water was used, the shrinkage of 28 days old high strength concrete was reduced by about 48% compared to the reference concrete, with no change in compressive strength [11].

Development of strength of plasticized cement stone made with superplasticizer C-3 of 1.0 to 0.25% concentration to cement mass at constant B/C, just like 0.27%, indicates that the strength of plasticized cement stone can be both higher and lower than that of the control composition [12]. There is a technology that does not allow shrinkage deformations in obtaining gas concrete wall stones

based on waste crushed concrete by casting technology with an average density of 650-750 kg/m³ with an optimal structure [13]. After drying non-autoclave porous concrete, shrinkage can reach 2.0-3.5 mm/m [14].

Further cheapening of such structures is possible due to the use of local industry waste in the composition of concrete and, first of all, ash from TPPs. Porous concrete is not inferior to brick and expanded clay aggregate concrete in performance indicators, and in some cases it exceeds them in frost resistance and heat protection. The production cost of porous concrete products is 50% lower than that of lightweight concrete products. While energy prices rise, the efficiency of gas ash concrete will increase in comparison with concrete on aggregates requiring high-temperature treatment [15]. Manufacturers already know how to obtain reinforced structures based on gas ash concrete [16].

However, non-autoclave porous concrete 900-1200 kg/m³ dense is not regulated enough compared to slag and expanded clay aggregate concrete 1600-1800 kg/m³ dense. Until now, there are no indicators of long-term deformability, data on the dynamics of strength and thermal properties, information on the behavior of steel reinforcement in products made of these concretes, etc. In many cases, this makes it impossible to use non-autoclave porous concrete instead of firing aggregate concrete, and in general it sharply limits the application area of the former for load-bearing reinforced concrete structures [13]. This problem could be solved with a new material — non-autoclave ash porous concrete (NAPC) 1600-1700 kg/m³ dense based on gas concrete technology, but with less gas forming additives. NAPC of the same average density as that of ordinary lightweight concretes on firing aggregates for reinforced load-bearing structures should be used due to close values of total porosity and related indices of elastic and deformative properties, as well as similar working conditions of reinforcement in these products. At the same time, in comparison with gas-isolated concretes, NAPC will favorably differ with higher stability of properties during manufacture, lower expense of gas-forming additives, and in comparison, with usual light concretes — absence of expensive large porous aggregates.

EXPERIMENT

To obtain NAPC, a silica component was used — a waste product of local industry, fly ash from Tver TPP-4. Bulk density of ash from TPP-4 varies from 700 to 1300 kg/m³. The specific surface area is 800 to 1200 cm²/g. The true grain density is 2.02 to 2.5 g/cm³. According to the classification, ash from TPP-4 is classified as fine-grained. According to the content of CaO and MgO, as well as SO₃, ash meets the standards. The ash from TPP-4 is not compliant with requirements on specific surface, which required special measures to use it as an ash aggregate for manufacturing cellular concrete.

Another silica component was sand for construction works according to GOST 8735.

Calcium oxide or quicklime with a mass fraction of calcium oxide of at least 85% is used as an alkaline additive. In addition, to increase the plasticity of all mixes for the injection molding method, SP-1 superplasticizer additive was introduced in the mixing water in a constant amount of 1.5% of the cement weight. The mixing water was heated to a temperature of 60-65 °C before molding the samples.

PAP-2 aluminum powder was used as a gas forming agent.



A B-D₁₃ non-linear three-factor planned experiment was used to select the optimum composition of non-autoclave ash porous concrete (NAPC). Variables: mass fraction of ash in ash-sand mixture A/(A+S), amount of gas educator additive – aluminum powder in relation to mass of cement A and water-cement ratio W/C varied in the following limits: A/(A+S) = 0±0.6; A = 0.07±0.11%; W/C = 0.57±0.69. Cement to aggregates (ash and sand) mass ratio was constant and equal 1: 2.3.

The cellular concrete mixture was prepared as follows: cement, previously dried and sifted through a sieve with a mesh size of 5 mm ash and sand, and mixing water were loaded into the mixing vessel. The mixture was stirred using a propeller stirrer at 150-200 rpm for 2 min. Then, the density of the unporous concrete mixture was determined using a measuring vessel of 1 dm³ and the fluidity of the mixture by the size (diameter) of the flake with a Suttard viscometer. Then the mixture was unloaded into the mixing vessel again, the calculated amount of aluminum suspension was added and stirred for another 1 min, after which it was poured into 10 cm cube shapes with an edge of about 90% of their height.

Two hours after pouring the mixture into the molds (porization of the mixture usually ended after 30-40 min), the samples were placed in the steaming chamber. After hardening of samples in the steam chamber for 8 hours at a temperature of isothermal exposure of 85 °C, they were demolded and tested.

As the criteria for optimization of NAPC composition, the average density of samples in dry state, compressive strength, coefficient of structural quality was used calculated by the formula

$$KKK = \frac{R_{cm}}{\gamma_0}$$

where R_{cm} is the compressive strength, MPa; γ₀ is the relative density of concrete samples (in relation to water density), dimensionless value.

The experimental data revealed the coefficients of mathematical models of dependences of properties of concrete mixture and concrete from the factors of the form specified above

$$y = v_0 + v_1x_1 + v_2x_2 + v_3x_3 + v_{11}x_1^2 + v_{22}x_2^2 + v_{33}x_3^2 + v_{12}x_1x_2 + v_{13}x_1x_3 + v_{23}x_2x_3,$$

where x₁ = 3.33(A/A + S - 0.3); x₂ = 50(A - 0.09); x₃ = 16.7(W/C - 0.63).

The coefficients of mathematical models of dependencies are given in Table 1.

Dependences of dry density of NAPC samples, plotted according to mathematical models, on factors of material composition show that increasing the content of aluminum powder A, the share of ash in sand-ash mixture A/(A+S), and water-cement ratio W/C reduce the density of samples in dry condition. At the same time, the compressive strength and structural quality factor dependences are more complicated and are unique due to the presence of local extremes.

In order to determine the optimal composition of NAPC corresponding to the highest values of R_{cm} and KKK, the optimization problems of these dependencies were solved. The optimal variables corresponding to the maximum coefficient of constructive quality were: A/(A+S) = 0.465; A = 0.084%; W/C = 0.57. The ultimate compressive strength of 28 days old NAPC is 15.2 MPa, density in the dry state is 1600 kg/m³. According to the results of research on

the composition of NAPC, it was decided to use structural non-autoclave ash porous concrete in the production of trial samples of NAPC and determine their physical and mechanical properties, including the effect of long-term loading on the properties of the micro-cracking process of this material.

It is known that during compression of concrete elements at the initial stage, there is some compaction of material caused by healing of microcracks. With further loading, the process of micro-cracking begins to prevail over compaction of concrete, as a result of which its structure becomes less homogeneous, and the time of passage of the ultrasonic wave increases. The load, at which the ultrasonic wave transit time increment changes sign, corresponds to the first parametric point R₀. This level of loading determines the beginning of intensive microcracking [17]. The process is accompanied by noticeable inelastic creep deformations. When the level of the second parametric point R₁ is reached, microcracking processes are accelerated, and the creep deformation of concrete passes into the non-linear region.

Tests were conducted on standard ash-concrete prisms with dimensions 10×10×40 cm. Six prisms were tested.

The tests were conducted in accordance with GOST 17624 methods. The device UK-10PMS and transducers with a resonance frequency of 60 kHz were used to measure ultrasound propagation time in concrete. The method of end-to-end sounding has been applied. To ensure reliable contact between the concrete and the working surfaces of ultrasonic transducers, liquid glass was used. The results are shown in Table 2 and Fig. 1.

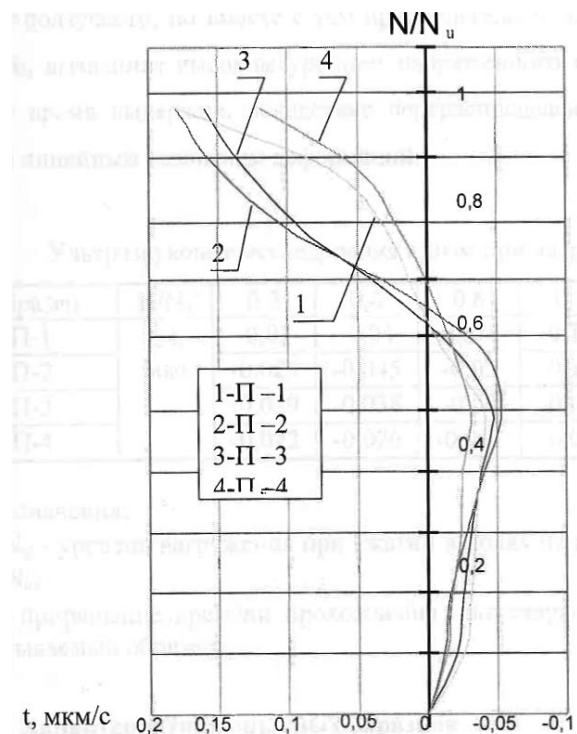


Fig. 1 Dependence of ultrasonic wave transit time on loading level



Table 1. Coefficients of mathematical models of dependencies of properties of concrete mixture and ash porous concrete on composition factors

Indicators	Factors									
	v_0	v_1	v_2	v_3	v_{11}	v_{22}	v_{33}	v_{12}	v_{13}	v_{23}
Density of the unperforated mixture, kg/m ³	2204	-28.5	-14.9	-7.5	-58.4	22.0	-109.4	-54.2	8.1	-50.6
Suttard flow diameter, cm	12.9	-4.3	-0,07	1.4	2.1	-1.7	-0,05	-0,5	-2.0	0.4
Density of concrete samples in dry state, kg/m ³	1616	-66.1	-97.4	-70.0	22.0	-21.5	-42.5	-49.1	-61.6	-38.1
Strength of concrete samples, MPa	9.6	0.13	-1.5	-1.5	-0.56	-1.15	-0.59	-0.46	-0.50	-0.54
Coefficient of structural quality	5.91	0.26	-0.65	-0.78	-0.38	-0.71	-0.26	-0.10	-0.13	-0.30

Table 2. Ultrasonic tests of prisms under loading

Sample	N/N _u	0.2	0.4	0.6	0.8	0.95
P-1	Δt , μs	-0.03	-0.04	-0.01	0.11	0.16
P-2		-0.025	-0.045	-0.03	0.12	0.18
P-3		-0.029	-0.038	-0.02	0.05	0.12
P-4		-0.022	-0.026	-0.017	0.03	0.12

Notation:

N/N_u is the level of compressive loading in fractions of the breaking load N_u;

Δt is the increment of time of ultrasonic waves transit through the tested sample.

Long term load tests were also carried out. Special spring units were developed at CaS Department of TvSTU for the long term tests of concrete prisms with dimensions 10×10×40 cm. Creep deformations in concrete prisms were determined according to the conventional methodology by excluding unloaded twin samples from the total deformations, shrinkage deformations. Shrinkage deformations were measured on unloaded prisms. Shrinkage and creep deformations were measured by clock type indicators with the division value of 0.002 mm, installed on two opposite sides of the samples.

The free shrinkage deformations of concrete were measured throughout the test period, as well as the ambient temperature and humidity (Fig. 2).

RESULTS AND DISCUSSION

Analysis of the curves in Fig. 1 shows that in non-autoclave ash porous concrete, the variation of the transit time and respectively the velocity at loading levels corresponding to the occurrence of parametric points is insignificant. This peculiarity of deformation

of the considered material can be explained by its considerable porosity.

Based on the position of critical points, two loading levels should be specified for the main samples — 0.6 and 0.75 of the breaking force. At 0.6, the state of the concrete is such that the creep strain is mostly linear. Load level 0.75 was supposed to provide intensive creep deformation, but at the same time it was supposed that non-linearity of creep caused by high stress level would be replaced by linear development of deformations after some soaking time due to redistribution of stresses.

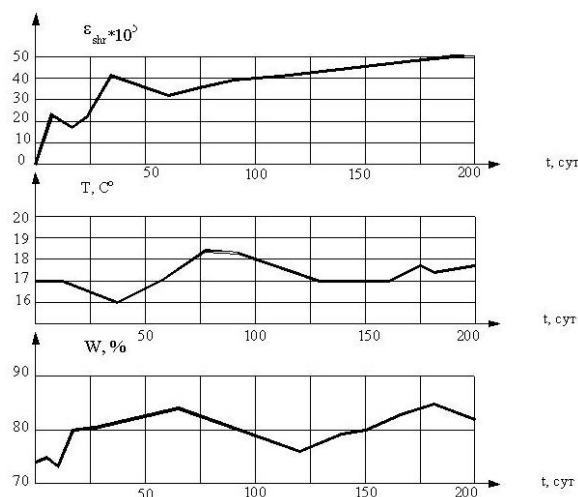


Fig. 2. Changes over time in relative humidity, temperature, and shrinkage deformations of concrete

The unique aspects of shrinkage deformation development in time shown in Fig. 2 show that the growth of their absolute values practically stopped after 150 days after starting the measurements, and their further changes are mainly determined by the change of air humidity.

In Fig. 3, curves characterizing development of deformations (characteristics) of concrete creep, obtained from results of long-term tests of concrete prisms loaded in different ages at two levels



of long-term acting load, are: 65 and 75% of the force corresponding to the NAPC prism strength.

Table 3 shows their numerical values for different levels and ages of loading and observations.

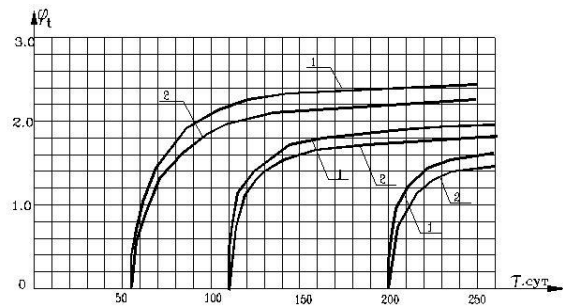


Fig. 3. Time variation of NAPC creep characteristics ϕ_t as a function of age τ and loading time T : 1 – 75% load of the short-term destructive force; 2 – same, 60%

The nature of the curves in Fig. 3 shows a pronounced dependence of ϕ_t values on the age of concrete. However, the development in time of properties of creep at loading at ages $\tau_1 = 50, 120, 200$ days is practically identical.

For all observed ages, the curves of creep properties have one feature in common – rapid, during the first day, flow of deformations and then their exponential increase with approximately the same rate. The magnitude of rapid creep deformation is very significant and ranges from 30 to 40% of the full, i.e., limit, values for the moments of time when the damping becomes obvious.

Thus, NAPC of the same average density as that of ordinary lightweight concretes on firing aggregates for reinforced load-bearing structures should be used due to close values of total porosity and related indices of elastic and deformative properties, as well as similar working conditions of reinforcement in these products.

Table 3. Elastic deformation ϵ_{be} , creep deformation ϵ_{pl} , and creep properties ϕ_t of concrete at different loading ages τ_1

Age of concrete at the moment of loading τ_1 , days.											
55				120				200			
$t-\tau_1$, day s	ϵ_{be} $\times 10^5$	ϵ_{pl} $\times 10^5$	ϕ_t	$t-\tau_1$, days	ϵ_{be} $\times 10^5$	ϵ_{pl} $\times 10^5$	ϕ_t	$t-\tau_1$, days	ϵ_{be} $\times 10^5$	ϵ_{pl} $\times 10^5$	ϕ_t
1	75.6	27	0.36	1	71.8	17.2	0.24	1	69.0	10.3	0.15
3		44	0.59	3		28.7	0.40	3		17.3	0.25
5		63	0.83	5		40.2	0.56	5		24.1	0.35
7		74	0.98	7		48.1	0.67	7		30.3	0.44
10		88	1.17	10		60.3	0.84	10		41.4	0.60
20		104	1.38	20		76.82	1.07	20		60.0	0.87
30		120	1.59	30		94.1	1.31	30		81.4	1.18
45		152	1.79	45		109.1	1.52	45		97.9	1.42
60		163	2.00	60		122.7	1.71	60		109.7	1.59
90		179	2.15	90		132.8	1.85	80		118	1.71
120		186	2.24	120		142.1	1.98				
150				2.36							
220				2.46							

CONCLUSIONS

As a result of work, a new material was obtained – non-autoclave ash porous concrete (NAPC) with density 1600-1700 kg/m³ based on the use of gas-concrete technology, but with less gas-forming additives. This concrete of compressive strength class B15 and prism strength of 11.4 MPa is quite an effective construction material. Using NAPC, the weight of the structure can be reduced by 40% compared to elements made of heavy concrete. Strength and deformation characteristics of NAPC are determined both at short-term and long-term active loads, which is the basis for further research on the use of this per-special material in bearing and enclosing structures.

In the future, the research should concern: 1) the improvement of the production technology of NAPC, including the use of

activation of ash aggregate, in order to obtain more stable and high quality indicators of the material; 2) a new and unconventional combination of structural materials such as relatively low-strength non-autoclave ash porous concrete with a density of 1600 kg/m³ and high-strength reinforcement; 3) the research into deformability, strength, and fracture resistance of compressed reinforced elements based on non-autoclave ash porous concrete; 4) a method to determine the stress-strain state of cross-sections of structural elements under axial and eccentric compression taking into account the inelastic state of concrete, its creep and shrinkage; 5) a methodology for calculating the load-carrying capacity of structures on the basis of NAPC; 6) primary technical and economic calculations on the efficiency of production and operation of new load-bearing and enclosing structures based on NAPC for construction and reconstruction of buildings of various purposes.



REFERENCES

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021

1. **Chinenkov Yu.V., Yarmakovskiy V.N.** Light concretes and structures of them. Concrete and reinforced concrete. 1997. N 5. P. 8-10 (in Russian).
2. **Chernyshov E.M., Slavcheva G.S., Potamoshneva N.D., Makeev A.I.** Porous concrete for heat-efficient residential buildings. Izv. vuzov. Stroitel'stvo. 2002. N 5. P. 22-27 (in Russian).
3. **Leonovich S.N., Sviridov D.V., Schukin G.L., Belanovich A.L., Karpushenkov S.A., Savenko V.P.** Foam concrete shrinkage compensation. Stroitel'nye Materialy. 2015. N 3. P. 3-7 (in Russian).
4. **Svinarev A.V., Glushkov A.M., Kuprina A.A.** Technological module TM-25 for the production of non-autoclaved fibropene concrete products. Stroitel'nye Materialy. 2014. N 6. P. 4-7 (in Russian).
5. **Berdov G.I., Elesin M.A., Umnova E.V.** Cellular slag-Portland cement concrete on a lime-sulfur gate. Stroitel'nye Materialy. 2015. N 5. P. 74-76 (in Russian).
6. **Loganina V.I., Makarova L.V., Sergeeva K.A.** Properties of lime composites with silicate-containing fillers. Stroitel'nye Materialy. 2012. N 3. P. 30-31 (in Russian).
7. **Selyaev V.P., Neverov V.A., Mashtaev O.G., Sidorov V.V.** Microstructure thermal insulation materials on a fine mineral powders. Stroitel'nye Materialy. 2013. N 8. P. 79-80 (in Russian).
8. **Yang Lin, Yan Yun and Hu Zhihua.** Utilization of phosphogypsum for the preparation of non-autoclaved aerated concrete. Construction and Building Materials. 2013. V. 44. P. 600-606.
9. **Piasta Wojciech, Sikora Hubert.** Effect of air entrainment on shrinkage of blended cement concretes. Construction and Building Materials. 2015. V. 99. P. 298-307.
10. **Saraikina K.A., Golubev V.A., Yakovlev G.I., Senkov S.A., Politayeva A.I.** Nanostructure-bath of cement stone with dispersed reinforced basalt in-locna. Stroitel'nye Materialy. 2015. Вып. 2. P. 34-38 (in Russian).
11. **Saye D.** Reduction Methods Shrinkage Deformation Concrete. Cement and its applications. 2016. N 5. P. 64-67 (in Russian).
12. **Smirnova P.V., Morgun L.V., Morgun V.N.** Theoretical and experimental justification of the possibility of controlling the amount of shrinkage strains in foam concrete of non-autoclave hardening. Stroitel'nye Materialy. 2013. N 4. P. 96-98 (in Russian).
13. **Efimenko A.Z.** Non-autoclave gas concrete on sand from concrete crushing waste. Stroitel'nye Materialy. 2009. N 1. P. 13 (in Russian).
14. **Yakimechko Y.B.** Non-autoclave gas concrete with polydisperse fillers based on industrial waste. Stroitel'nye Materialy. 2009. N 1. P. 24-26 (in Russian).
15. **Silaenkov E.S.** Prospects for the production and use of non-nuclear gas concrete products in the Urals. Beton i zhelezobeton. N 1. 1996. P. 2-5 (in Russian).
16. **Akhmanitskiy G.Ya., Bessilnyi T.P., Bekisheva L.K.** Ways to improve technology and equipment for the production of products from non-autoclaved cellular concrete. Beton i zhelezobeton. 1997. Вып. 2. P. 9-12 (in Russian).
17. **Prokopovich I.E., Zedgenidze V.A.** Applied theory of crawl-verse. M.: Stroyizdat. 1980. 240 p. (in Russian).



УДК 691.327:691.214.8

САМОУПЛОТНЯЮЩИЕСЯ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЕ БЕТОНЫ НА ОСНОВЕ ВЫСОКОНАПОЛНЕННЫХ ЦЕМЕНТНЫХ ВЯЖУЩИХ

А.С. Балыков, Т.А. Низина, В.В. Володин, Д.И. Коровкин

Артеми́й Серге́евич Балыков

Кафедра строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

E-mail: artbalrun@yandex.ru

Татьяна Анатольевна Низина

Кафедра строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

E-mail: nizinata@yandex.ru

Владимир Владимирович Володин

Кафедра строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

E-mail: volodinvv1994@gmail.com

Дмитрий Игоревич Коровкин

Кафедра строительных конструкций, Национальный исследовательский Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарёва, ул. Большевикская, 68, Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430005

E-mail: asfkorovkin@yandex.ru



Настоящая работа посвящена разработке модифицированных мелкозернистых бетонов классов прочности на сжатие от В20 до В90 из самоуплотняющихся смесей, содержащих микрокальцит, суперпластификатор на основе эфира поликарбоксилата, мелкий кварцевый песок с модулем крупности 1,4, минеральные добавки микрокремнезема, метакаолина и Пенетрон Адмикс (при необходимости). Приведены результаты исследования физико-механических свойств разработанных самоуплотняющихся мелкозернистых бетонов.

Ключевые слова: мелкозернистый бетон, высоконаполненная самоуплотняющаяся смесь, карбонатный наполнитель, активная минеральная добавка, мелкий песок, физико-механические свойства

Для цитирования:

Бальков А.С., Низина Т.А., Володин В.В., Коровкин Д.И. Самоуплотняющиеся мелкозернистые бетоны на основе высоконаполненных цементных вяжущих. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 32-37 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_32



UDC 691.327:691.214.8

SELF-COMPACTING FINE-GRAINED CONCRETES BASED ON HIGHLY FILLED CEMENT BINDERS

A.S. Balykov, T.A. Nizina, V.V. Volodin, D.I. Korovkin

Artemy S. Balykov

*Department of Building Structures, N. P. Ogarev National Research Mordovian State Uni-versity, 68 ulitsa
Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia*

E-mail: artbalrun@yandex.ru

Tatyana A. Nizina

*Department of Building Structures, N. P. Ogarev National Research Mordovian State Uni-versity, 68 ulitsa
Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia*

E-mail: nizinata@yandex.ru

Vladimir V. Volodin

*Department of Building Structures, N. P. Ogarev National Research Mordovian State Uni-versity, 68 ulitsa
Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia*

E-mail: volodinvv1994@gmail.com

Dmitry I. Korovkin

*Department of Building Structures, N. P. Ogarev National Research Mordovian State Uni-versity, 68 ulitsa
Bolshevistskaya, Saransk, Republic of Mordovia, 430005, Russia*

E-mail: asfkorovkin@yandex.ru



The paper discusses the development of modified fine-grained concretes of C20 to C90 compressive strength classes from self-compacting mixtures containing microcalcite, polycarboxylate superplasticizer, and fine quartz sand with a fineness modulus of 1.4, mineral additives of microsilica, metakaolin and Penetron Ad-mix (if necessary). The work provides the results of the study of physical and mechanical properties of the developed self-compacting fine-grained concretes.

Key words: *fine-grained concrete, highly filled self-compacting mixture, carbonate filler, active mineral additive, fine sand, physical and mechanical properties*

For citation:

Balykov A.S., Nizina T.A., Volodin V.V., Korovkin D.I. Self-compacting fine-grained concretes based on highly filled cement binders. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 32-37 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_32



Cement-based concrete remains the basic building material. The reliability and durability of building products and structures depend on its performance properties. The modification of cement systems with chemical and mineral additives of different compositions, used both individually and in complex, is one of the main means of controlling structure formation and improvement of physical and mechanical properties of concrete [1, 2].

The range of mineral additives used in the formulation of cement systems nowadays is very extensive and consists of a variety of natural and synthetic materials. At the same time, the following types of mineral modifiers showed the greatest efficiency in compositions of cement concrete: siliceous and aluminosilicate pozzolanic additives (metakaolin, microsilica, etc.); expanding sulphoaluminium type additives; carbonate fillers (limestone, dolomitized limestone, dolomites, etc.) [3, 4].

Application of effective individual chemical and mineral additives as well as complex organic-mineral modifiers promoted the creation of high strength modified concretes, including self-compacting mixtures (SCC) [5, 6], first researched by the Japanese professor H. Okamura [7]. It is known that SCCs are unique due to high technological indicators (standard cone spreading over 550

mm), which have the increased rheological efficiency of the suspension matrix.

It is worth to look into the development of highly mobile concrete mixtures with fine sands. The difficulty in achieving self-compaction of these systems, especially with reduced binder content, is due to the high thickening ability of fine sands, as well as the reduced efficiency of plasticizers in lean concrete mixes [8]. It means that the problem of increasing rheological efficiency of modern plasticizers in cement systems with aggregates from fine and water-demanding sands seems is yet to be solved. In addition, it is necessary to optimize the granulometric composition and dosage of mineral additives in this kind of compositions to ensure their high fluidity at a reduced water content.

The aim of this work was to develop compositions of self-compacting concrete mixtures using fine silica sand. The main components of the cement systems used were: Portland cement CEM I 32.5B (PC); fine quartz sand with particle size modulus 1.4 (FQS); carbonate filler — KM100 grade microcalcite (MCM) in accordance with GOST R 56775-2015; condensed non-compacted microsilica MK-85 (MCN); highly active metakaolin (MTK); additive Penetron Admix (Admix); polycarboxylate ester-based superplasticizer Melflux 5581 F (SP).

Table 1. Compositions and physical-mechanical properties of cement systems under study

Composition number	1	2	3	4	5	6	7
Recipe and process parameters							
PC, kg/m ³	701÷739				239÷485		
FQS/PC	1.50				2.23	2.92	4.68
MCM/PC	0.45				1.11	1.63	3.21
Modifier (MD), % of mass (PC+MD)	-	10 VMC	10 (Admix)	10 (MC)	10 VMC	-	-
SP, % of mass (PC+MCM)	0.7						
Water-cement ratio	0.29	0.30	0.32	0.32	0.44	0.57	0.89
Flow of Hagerman cone, mm	295	260	280	280	260	290	300
Physical and mechanical properties in 28 days							
Density, kg/m ³	2393	2343	2320	2367	2320	2323	2344
Flexural strength, MPa	12.3	12.8	10.6	14.9	9.9	7.4	5.3
Compressive strength, MPa	92.5	104.2	82.7	115.8	73.8	47.5	28.3

Table 1 presents the developed compositions of self-compacting fine-grained concretes. Basic formulation parameters of the obtained cement systems: cement consumption — 239–739 kg/m³, microcalcite dosage — 45–321% of cement mass, water content and superplasticizer consumption — 20.2–21.8 and 0.7% of Portland cement + microcalcite mixture mass, respectively (Table 1). A distinctive feature of these self-compacting mixtures is an increased degree of microcalcite filling, which determines the high content of rheologically active fine-dispersed components (PC + MCM) (at least 340 l/m³), as well as the increased volume of rheologically active suspension matrix (PC + MCM + mineral additive + water) (at least 580 l/m³), which provides necessary separation of fine sand grains and high technological parameters of concrete

mixtures (Hagerman cone and standard Abrams cone flow diameter at least 260 and 500 mm respectively).

The testing provided with physical and mechanical properties of self-compacting fine-grained concretes with fine sand FQS in 28 days: density, bending, and compressive strength are 2320–2393 kg/m³, 5.3–14.9, and 28.3–115.8 MPa, respectively.

The test results confirm that it is possible to obtain self-compacting fine-grained concretes of high strength without active mineral modifiers, as evidenced by the level of strength indicators achieved in the design age for the composition number 1 with Portland cement 739 kg/m³ — 92.5 and 12.3 MPa in compression and flexure, respectively. At the same time, the replacement of 10 % of Portland cement by metakaolin (composition No. 2) and microsilica (composition No. 4) contributes to increasing the strength



characteristics of cements relative to concrete of control composition No. 1 (up to 21 and 25% in flexure and compression, respectively). On the contrary, the introduction of Admix into composition No. 3 results in 14 and 11% decreases of flexural and compressive strengths of fine-grained concrete, which may be due to a somewhat increased thickening ability of this mineral additive, as well as to the unique aspects of its influence on the structure parameters of the obtained composites.

The study was conducted with the financial support of RFBR, research project No. 18-29-12036.

REFERENCES

1. **Kalashnikov V.I.** Calculation of compositions of high-strength self-compacting concrete. 2008. N. 10. P. 4-6 (in Russian).
2. **Tarakanov O.V., Kalashnikov V.I.** Prospects of application of complex additives in new generation concrete. *Izvestiya KGASU*. 2017. N 1(39). P. 223-229 (in Russian).
3. **Ushero-Marshak A.V.** Betony novogo genereniya – betony s dopadkami. *Beton i zhelezobeton. Equipment. Materials. Technologies*. 2011. N 1. P. 78-81 (in Russian).
4. **Kaprielov S.S., Sheinfeld A.V., Dondukov V.G.** Cements and additives for the production of high-strength concrete. *Construction materials*. 2017. N 11. P. 4-10 (in Russian).
5. **Schutter G. De., Bartos P., Domone P., Gibbs J.** *Self-compacting concrete*. New-York: Taylor & Francis Group. 2008. 296 p.
6. EFNARC. *The European guidelines for self-compacting concrete. Specification, production and use*. Farnham. UK. 2005. 68 p.
7. **Okamura H., Ouchi M.** Self-compacting concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2003. V. 1. N. 1. P. 5-15.
8. **Nizina T.A., Balykov A.S., Korovkin D.I., Volodin V.V.** Modified fine-grained concretes based on highly filled self-compacting mixtures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2019. V. 481. URL: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/481/1/012048>

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021



УДК 621.577.6:001.891.57:510.532

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ ЭКСПЕРТНЫХ СУЖДЕНИЙ КРИТЕРИЕВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВОЗДУШНОГО ТЕПЛООВОГО НАСОСА

С.В. Федосов¹, В.Н. Федосеев², И.А. Зайцева³, В.А. Воронов²

Сергей Викторович Федосов

¹Кафедра технологии вяжущих веществ и бетонов, Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, Москва, Российская Федерация, 129337
E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Вадим Николаевич Федосеев

²Кафедра организации производства и городского хозяйства, Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: 4932421318@mail.ru

Ирина Александровна Зайцева

³Кафедра экономики, управления и финансов, Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: 75zss@rambler.ru

Владимир Андреевич Воронов

²Кафедра организации производства и городского хозяйства, Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000
E-mail: atenamiiii@gmail.com



В статье обосновывается целесообразность использования методики анализа иерархий, в качестве эффективного инструмента математического прогнозирования системного и необходимого подхода для анализа сложных проблем при поддержке принятия управленческих решений. В этом исследовании основу методологии анализа иерархий составил метод экспертных оценок, в котором проводили экспертизу профессионалы различного рода деятельности. Главная цель этого метода - определение наиболее сложных факторов рассматриваемой проблемы, улучшение показателя качества получаемых данных и выводов. При проведении исследования была сформирована группа независимых экспертов, посредством индивидуального опроса определены параметры повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса. Экспертное обоснование теплофизических свойств теплоносителя, рабочего тела, окружающей среды позволило провести объективное математически обоснованное сравнение и расчет приоритетов вариантов анализируемых моделей воздушного теплового насоса.

Ключевые слова: метод анализа иерархий, энергоэффективность, воздушный тепловой насос

Для цитирования:

Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А., Воронов В.А. Обоснование методом анализа иерархий экспертных суждений критериев повышения энергоэффективности воздушного теплового насоса. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 38-47 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_38



UDC 621.577.6:001.891.57:510.532

THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD IN BACKING EXPERT JUDGMENTS OF CRITERIA FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF AIR HEAT PUMP

S.V. Fedosov¹, V.N. Fedoseev², I.A. Zaytseva³, V.A. Voronov²

Sergey V. Fedosov

¹Department of Technology of Binders and Concretes, National Research Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl Highway, 26, Moscow, 129337, Russia

E-mail: fedosov-academic53@mail.ru

Vadim N. Fedoseev

²Department of Production Management and Municipal Economy, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky ave., 21, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: 4932421318@mail.ru

Irina A. Zaytseva

³Department of Economics, Management and Finance, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky ave., 21, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: 75zss@rambler.ru

Vladimir A. Voronov

²Department of Production Management and Municipal Economy, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky ave., 21, Ivanovo, 153000, Russia

E-mail: amenamiiii@gmail.com



The article substantiates the expediency of using the hierarchy analysis method as a mathematical tool for forecasting a systemic and necessary approach for analyzing complex problems using managerial decision-making. In this study, the hierarchy analysis method is implemented based on the expert assessment method, in which the respondents are experts – specialists in a particular area of expertise. The main purpose of the expert assessment method is to identify complex aspects of the problem under study, to improve the quality of information and conclusions. During the study, a group of independent experts was formed, through an individual survey, criteria for improving the energy efficiency of an air heat pump were determined. The expert substantiation of the thermophysical properties of the coolant, the working fluid, the environment made it possible to conduct an objective mathematically substantiated comparison and calculation of the priorities of the variants of the analyzed models of the air heat pump.

Key words: *hierarchy analysis method, energy efficiency, air source heat pump*

For citation:

Fedosov S.V., Fedoseev V.N, Zaytseva I.A., Voronov V.A. The hierarchy analysis method in backing expert judgments of criteria for increasing the energy efficiency of air heat pump. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 38-47 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: [10.52957/27821919_2021_2_38](https://doi.org/10.52957/27821919_2021_2_38)



ВВЕДЕНИЕ

Повышение степени качества процедуры принятия решений можно достичь групповой экспертизой, где эксперты обладают своим уникальным мнением по разрешению либо оценке поставленной задачи.

Оценки экспертов, как правило, принимаются в опросной форме. В количественном виде мнение экспертов определяется методом анализа иерархий (МАИ), основные положения и принципы данного метода представлены на рис. 1.



Рис. 1. Основные положения методологии МАИ
Fig. 1. Main provisions of the MAI methodology

Рис. 1 наглядно демонстрирует, что в основе МАИ лежат элементы, в совокупности позволяющие оперативно выбирать рациональное решение проблемы. При этом решение будет наилучшим образом согласовываться с индивидуальным пониманием основной проблематики конкретно каждого эксперта.

Среди основных элементов МАИ стоит выделить метод экспертных оценок, который подразумевает, что в качестве экспертов будут выбраны профессионалы различного рода деятельности. Главная цель этого метода в определении наиболее сложных факторов рассматриваемой проблемы, улучшение показателя качества получаемых данных и выводов. Уникальность метода заключается в профессиональности экспертизы, которая обеспечивает качественный анализ и решение поставленных проблем. Мнения экспертов предполагают процесс сравнения элементов объекта исследования по заданным параметрам и называются экспертными оценками [3].

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Цель исследования сводилась к решению двух задач:

1) Создать группу независимых экспертов, которые, как минимум, обладают ученой степенью кандидата наук, многолетним опытом производства и анализа. Количество экспертов определяется исходя из трудоемкости выбранной исследовательской работы. В рамках данного исследования для опроса были выбраны 6 экспертов.

2) Определение параметров для сравнения вариантов рассматриваемых теплонасосных устройств.

Подробность экспертного мнения определяет степень качества, а, следовательно, и результативность решения проблемы. Таким образом, экспертиза специалистами становится этапом значительной важности. Чтобы эксперты могли определить важность параметров, относительно цели исследования, необходимо детальнее рассмотреть основные элементы, разбив их на составляющие (рис. 2).

На рис. 2 изображены основные параметры и теплофизические свойства объекта исследования, которые определялись в соответствии с изложенными ранее выводами экспертов [2].

Допустимые параметры воздуха в рамках данного исследования определялись существующей базой нормативных документов. Этими параметрами создается и поддерживается комфортный микроклимат в помещении. Параметр скорости авторы заменили на показатель объема, поскольку он наиболее корректно показывает значение приточного наружного воздуха.

Эксперты рассматривали систему отопления, где функцию теплоносителя выполняла вода, поскольку она обладает высокой теплоемкостью, ее стоимость значительно ниже теплоносителей-конкурентов.

Параметры рабочего тела подобраны на основании проведенных исследований [4–6]. От свойств рабочего тела зависит величина потери тепла в процессе теплообмена, а следовательно, на энергоэффективность теплогенерации.



Выбранные параметры рабочего тела, окружающей среды и теплоносителя обладают наибольшим влиянием на эффективность теплообмена.

Уменьшение человеческого фактора является немаловажной задачей, которая в методологии Т. Саати решается при

помощи такого понятия как мера согласованности матрицы. [1]

На следующем шаге посредством парного сравнения различных элементов иерархии выбираются наиболее важные для преследуемой цели исследования. Результаты оцениваются по 9-балльной шкале.

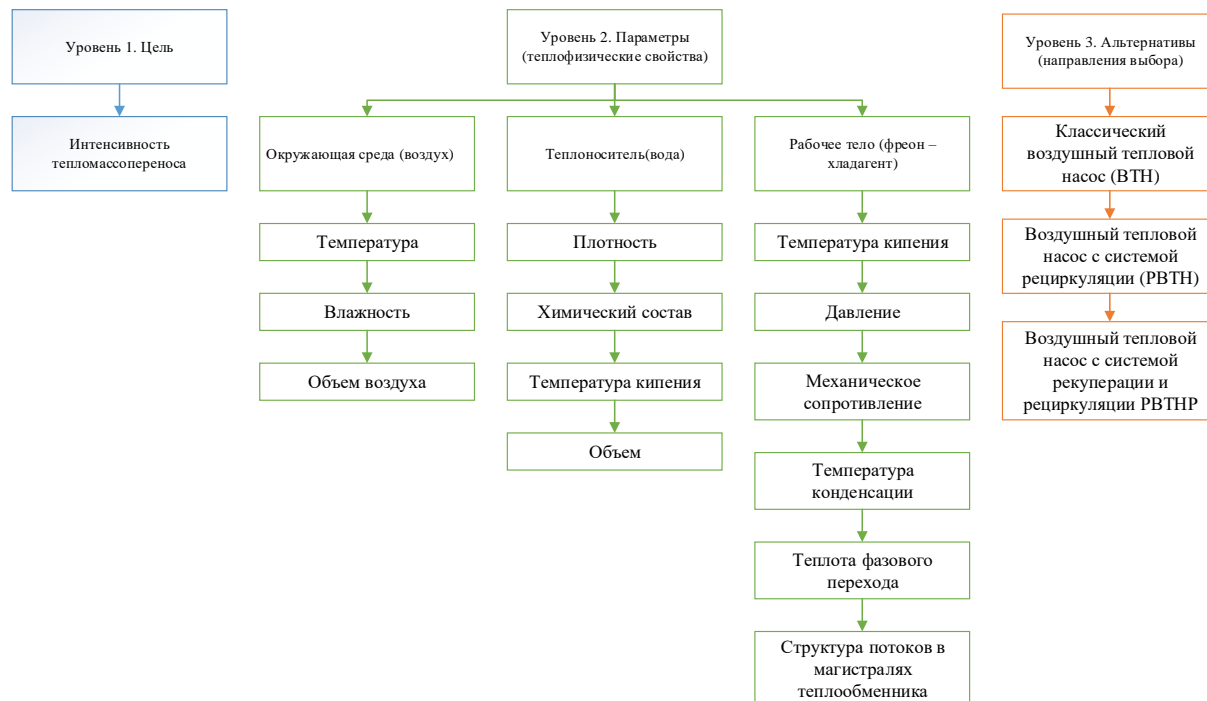


Рис. 2. Иерархия проблематики выбора приоритетных направлений повышения эффективности переноса тепловой энергии

Fig. 2. Hierarchy of the problems of choosing priority directions for improving the efficiency of heat transfer

Ответ эксперта представлен числом от 1 до 9. Опрос членов экспертной команды проводился индивидуально и независимо друг от друга, далее определялось среднее значение полученных оценок и заносилось в таблицы парных сравнений. Средний балл определялся среднеарифметической простой.

Такой подход позволяет оценить согласованность экспертных суждений.

Таблица 1. Оценка экспертов основных параметров и теплофизических свойств объекта исследования

Table 1. Expert assessment of the main parameters and thermophysical properties of the object of study

Вопросы для опроса и анализа	1-й эксперт	2-й эксперт	3-й эксперт	4-й эксперт	5-й эксперт	6-й эксперт	Средний балл
1	2	3	4	5	6	7	8
По параметрам окружающей среды							
Параметр «температура» важнее параметра «влажность» для достижения цели?	5	5	6	3	2	3	4
Параметр «температура» важнее параметра «объем воздуха»?	5	5	7	6	6	7	6
Параметр «влажность» важнее параметра «объем воздуха»?	3	3	2	4	3	3	3



По параметрам теплоносителя							
Параметр «температура кипения» важнее параметра «объем»?	4	4	4	5	3	4	4
Параметр «температура кипения» важнее параметра «плотность»?	5	7	6	6	4	8	6
Параметр «температура кипения» важнее параметра «вязкость»?	7	6	8	7	7	7	7
Параметр «объем» важнее параметра «плотность»?	2	4	3	3	2	4	3
Параметр «объем» важнее параметра «вязкость»?	4	5	6	3	3	4	4
Параметр «плотность» важнее параметра «вязкость»?	1	1	3	3	2	2	2
По параметрам рабочего тела							
Параметр «давление» важнее параметра «теплота»?	3	3	3	3	3	3	3
Параметр «теплота» важнее параметра «сопротивления»?	8	9	7	6	9	9	8
Параметр «теплота» важнее параметра «температура кипения»?	2	4	3	3	2	4	3
Параметр «теплота» важнее параметра «температура конденсации»?	3	4	3	4	2	2	3
Параметр «теплота» важнее параметра «структура»?	7	7	7	7	7	7	7
Параметр «давление» параметра «сопротивление»?	9	9	9	9	9	9	9
Параметр «давление» важнее параметра «структура»?	9	9	9	9	9	9	9
Параметр «давление» важнее параметра «температура кипения»?	2	4	4	2	2	4	3
Параметр «давление» важнее параметра «температура конденсации»?	4	3	2	2	3	4	3
Параметр «сопротивление» важнее параметра «структура»?	2	2	2	2	2	2	2
Параметр «температура кипения» важнее параметра «сопротивление»?	5	7	6	6	4	8	6
Параметр «температура кипения» важнее параметра «структура»?	7	6	5	6	6	6	6
Параметр «температура конденсации» важнее параметра «сопротивление»?	5	4	6	5	5	4	5
Параметр «температура конденсации» важнее параметра «структура»?	6	6	6	6	6	6	6
Параметр «температура конденсации» важнее параметра «температура кипения»?	3	2	5	2	3	3	3

Основной целью исследования являлось повышение интенсивности теплообмена. При этом побудительным фактором является организация системы комфортного отопления в жилых и административных зданиях.

Для параметров окружающей среды в рамках обозначенной цели матрица парных значений приобретет вид 3x3, при этом в левом столбце и в верхней строке матрицы приведены параметры (табл. 2).

Значение параметра «объем» меньше, если сравнивать со значением параметра «температура», ввиду того, что температура окружающей среды, в большей степени, влияет на интенсивность генерации тепла тепловым насосом - ставим оценку 6.

Параметр «влажность» несколько менее важен, чем «температура», поскольку эти параметры взаимосвязаны. При снижении влажности увеличивается температура, а значит, увеличивается эффективность переноса тепла - ставим оценку 4.



Таблица 2. Оценки экспертов сравнения параметров окружающей среды

Table 2. Expert assessments and comparisons of environmental parameters

Цель	Температура	Объем	Влажность
Температура	1	6	4
Объем	1/6	1	1/3
Влажность	1/4	3	1

Значимость параметра «влажность» гораздо ниже параметра «объем». При выборе между этими параметрами по значимости для теплообмена теплового насоса предпочтению, с большей долей вероятности, будет отдано «влажности» - ставим оценку 3.

В строках, где сходится сравнение параметра с самим собой, ставим оценку 1, таким образом, диагональ таблицы составляют единицы.

На пересечении столбца «температура» и строки «объем» заносим соответствующие обратные значения сравнения: 1/6. Таким же образом поступаем с другими элементами. Оценка этих суждений составит определенную позицию матрицы.

Следуя описанной выше последовательности, присваиваются оценки параметрам теплоносителя и рабочего тела с учетом основной цели исследования.

Оценки экспертов сравнения параметров теплоносителя приведены в табл. 3.

Таблица 3. Оценки экспертов сравнения параметров теплоносителя

Table 3. Expert assessments comparing the parameters of the coolant

Цель	$T_{кипения}$	Объем	Плотность	Химический состав
$T_{кип}$	1	4	6	7
Объем	1/4	1	3	4
Плотность	1/6	1/3	1	2
Химический состав	1/7	1/4	1/2	1

Параметр «объем» в 4 раза менее важен, чем параметр « $T_{кип}$ », поскольку значение объема теплоносителя - это следствие изменения температуры кипения.

Поскольку показатель плотности меняется при изменении температуры, в сравнении параметров « $T_{кип}$ » и «плотность» первый будет явно преобладать - ставим оценку 6.

С учетом того, что в отопительных системах используется дистиллированная вода, в которой полностью отсутствует примеси, значение параметра «химический состав» будет значительно меньше параметра « $T_{кип}$ ». Ставим оценку 7 в пользу последнего.

Значение параметра «объем» чуть более важен, чем «плотность» - ставим оценку 3.

Относительно «химического состава» параметр «объем» будет иметь небольшое преимущество - ставим оценку 4.

Значимость параметров «плотность» и «химический состав» фактически идентична - выставляем оценку 2.

Оценка экспертов сравнения параметров рабочего тела (табл. 4).

Таблица 4. Оценка экспертов сравнения параметров рабочего тела

Table 4. Expert evaluation of comparison of working fluid parameters

Цель	Теплота	Давление	Сопротивление	$T_{кип}$	$T_{конд}$	Структура
Теплота	1	1/3	8	3	3	7
Давление	3	1	9	3	3	9
Сопротивление	1/8	1/9	1	1/6	1/5	2
$T_{кип}$	1/3	1/3	6	1	1/3	6
$T_{конд}$	1/3	1/3	5	3	1	6
Структура	1/7	1/9	1/2	1/6	1/6	1

Параметр «давление» не важнее параметра «теплота», поскольку процесс передачи тепла сопровождается изменением давления - ставим оценку 3.

Значимость параметра «теплота» значительно выше, чем «сопротивление», поскольку тепловой поток зависит от скорости и направления движения рабочего тела по трубопроводам внутреннего контура теплового насоса - ставим оценку 8.

Параметры « $T_{кип}$ » и « $T_{конд}$ » являются менее существенными по сравнению с параметром «теплота» - оценка 3. Аналогично между параметрами « $T_{кип}$ » и « $T_{конд}$ » можно выявить лишь незначительную разницу - оценка 3. Параметр «давление» несущественно преобладает над параметрами « $T_{кип}$ » и « $T_{конд}$ » - оценка 3. Наглядно демонстрируемая связь между данными параметрами представляет основополагающий принцип работы воздушно-теплового насоса (ВТН). В компрессоре происходит процесс сжатия газообразного фреона до состояния, при котором возможен его переход в жидкость, при этом фреон нагревается. Далее фреон поступает в конденсатор, где отдает часть своего тепла внешнему контуру устройства, а сам при этом охлаждается до температуры окружающей среды. Охлажденный фреон в состоянии жидкости поступает в расширительную камеру, в которой проходит через дроссель. При этом фреон расширяется и охлаждается значительно ниже температуры окружающей среды, а его давление падает. В испарителе фреон в состоянии смеси газа и жидкости поглощает тепло в зоне охлаждения. Отбираемое тепло позволяет продолжить процесс испарения оставшейся жидкой части фреона и поддерживает стабильную низкую температуру испарителя, что создает условия для эффективного отбора тепла. Далее фреон вновь поступает в компрессор, и весь описанный цикл повторяется.



Таким образом, параметр «теплота» имеет преобладающее положение по сравнению с параметром «структура» - ставим оценку 7. Структурой определяются технологические характеристики трубопроводов внутреннего контура ВТН, а именно толщина стенки и материал изготовления. На передачу тепловой энергии будут влиять такие факторы как характер движения теплоносителя, его скорость и полезная площадь поверхности теплообмена.

Параметр «давление» значительно важнее параметров «сопротивление» и «структура», поскольку рабочее тело внутреннего контура всегда находится под давлением - ставим оценку 9. Причем как сжатие, так и разрежение рабочего тела осуществляет единственный компрессор внутреннего контура. Параллельно компрессору зоны высокого и низкого давления разделяет дроссель, ограничивая поток фреона.

Параметр «сопротивление» в сравнении с параметром «структура» имеет невысокую значимость - ставим оценку 2. Структура отвечает за гидравлический режим работы внутреннего контура ВТН (длина, диаметр трубопровода, расход рабочего тела, потеря давления).

Параметр « $T_{кит}$ » обладает значением промежуточной значимости по отношению к таким параметрам, как «структура» и «сопротивление» - оценка 6. Таким же образом суждения сходятся касательно параметров « $T_{конд}$ » и «структура» - ставим оценку 6. Незначительно ниже сложилась оценка параметра « $T_{конд}$ » относительно «сопротивление» - оценка 5. На теплоотдачу в этом случае, прежде всего, влияют физические свойства.

Результаты исследования позволяют перейти к следующему этапу МАИ, в рамках которого будет выполнено вычисление относительного ранга рассматриваемых теплонасосных устройств в отношении всех параметров из трех рассматриваемых контуров, а также нахождение и подбор альтернативы с наивысшим приоритетом.

ВЫВОДЫ

МАИ преобладает над аналоговыми методами потому, что мнение экспертов выражается в цифровом виде, не допуская неточности в результате оценки, при этом четко формулируется цель исследования, ее основные элементы, параметры и их взаимосвязь. В процессе выбора рассматриваемых параметров основных элементов необходимо определить их значимость относительно основной цели, поскольку от этого будет зависеть постановка вопросов в опросных анкетах для экспертов.

Итоговый результат исследования, в большой степени зависит, от оценки суждений, которую необходимо проводить максимально корректно. Опрос целой группы экспертов дает возможность найти компромиссные решения и достичь высокой степени согласованности конечного результата.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Саати Т.** Принятие решений. Метод анализа иерархий. Пер. с англ. М.: Радио и связь. 1993. 278 с.
2. **Федосеев В.Н., Зайцева И.А.** Информационно-аналитический подход к решению сложных слабоструктурированных задач методом анализа иерархий МАИ. Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений: Сборник научных трудов. Иваново: Иванов. гос. политехн. ун-т. 2019. С. 72-82.
3. **Федосеев В.Н., Зайцева И.А.** Экспертиза объектно-пространственного моделирования ВТН методом анализа иерархий. Теория и практика технических, организационно-технологических и экономических решений: Сборник научных трудов. Иваново: Иванов. гос. политехн. ун-т. 2019. С. 136-152.
4. **Федосов С.В., Федосеев В.Н., Зайцева И.А.** Многокритериальный процесс моделирования теплопереноса в воздушных теплонасосных системах с целью энергоресурсосберегающих решений методом анализа иерархий. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2020. № 3(63). С. 98-111.
5. **Алоян Р.М., Федосеев В.Н., Петрухин А.Б., Зайцева И.А., Виноградова Н.В., Острякова Ю.Е.** Эффективность отопления тепловым насосом автономных текстильных производств в зависимости от уровня термодинамической активности. Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. 2017. № 1(367). С. 179-184.
6. **Макаров Д.В., Зайцева И.А., Андреева О.Р., Татиевский П.Б.** Теория и практика решения задач: Приоритеты в системе управления ЖКХ: Учеб.-метод. пособие. Иваново: ОАО «Издательство «Иваново». 2013. 83 с.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Принята к опубликованию 21.06.2021

REFERENCES

1. **Saaty T.** Decision-Making. Method of hierarchy analysis. Trans. from English. Moscow: Radio and communications. 1993. 278 p. (in Russian).
2. **Fedoseev V.N., Zaytseva I.A.** Information and analytical approach to solving complex weakly structured problems by the method of hierarchy analysis (MAI). Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions. Collection of proceedings. Ivanov. State Polytechnic. Un-t. Ivanovo. 2019. P. 72-82 (in Russian).
3. **Fedoseev V.N., Zaytseva I.A.** Expertise of object-spatial modeling of VTN by hierarchy analysis. Theory and practice of technical, organizational, technological and economic solutions. Collection of proceedings. Ivanov. State Polytechnic. Un-t. Ivanovo. 2019. P. 136-152 (in Russian).
4. **Fedosov S.V., Fedoseev V.N., Zaytseva I.A.** Multi-criteria process of modeling heat and mass transfer in air heat pump systems for the purpose of energy-saving solutions by hierarchy analysis. Sovremennye Naukoemkie Tekhnologii. Regionalnoe prilozhenie. 2020. N 3(63). P. 98-111 (in Russian).



5. **Aloyan R. M., Fedoseev V.N., Petrukhin A.B., Zaytseva I.A., Vinogradova N.V., Ostryakova Yu. E.** Efficiency of heat pump heating of Autonomous textile industries depending on the level of thermodynamic activity. *Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Tekhnologiya tekstilnoj promyshlennosti*. 2017. N 1(367). P. 179-184 (in Russian).
6. **Makarov D.V., Zaytseva I.A., Andreeva O.R., Tatievsky P.B.** Theory and practice of solving problems: Priorities in the management system of housing and communal services. Ivanovo: JSC «Publishing house «Ivanovo». 2013. 83 p. (in Russian).

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021



УДК 69.003

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ СРОКАМИ СТРОИТЕЛЬСТВА

Л.А. Опарина

Людмила Анатольевна Опарина

Кафедра организации производства и городского хозяйства, Ивановский государственный политехнический университет, пр. Шереметевский, 21, Иваново, Российская Федерация, 153000

E-mail: L.A.Oparina@gmail.com



Статья написана на актуальную тему управления сроками строительства посредством применения технологий информационного моделирования. Приведён обзор факторов, влияющих на управление сроками строительства. Показана важность управления сроками строительства на самых ранних этапах жизненного цикла строительных объектов. Обозначены вопросы постановки целей участников инвестиционно-строительных проектов в управлении сроками. Описано программное обеспечение, позволяющее управлять сроками строительства. Представлена авторская схема организации процессов проектирования и строительства с применением технологий информационного моделирования. Новизной авторского подхода является системный подход к управлению сроками строительства, который предполагает не только использование технологий информационного моделирования, но и смену системы управления строительными проектами: вовлечение заказчика в процессы составления календарных и сетевых графиков строительства, внедрение проектного управления и информационного моделирования.

Ключевые слова: *строительство, технология информационного моделирования, Building Information Model, сроки строительства, календарный план, сетевой график*

Для цитирования:

Опарина Л.А. Применение технологий информационного моделирования для управления сроками строительства. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 48-55 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_48



UDC 69.003

APPLICATION OF INFORMATION MODELLING TECHNOLOGIES FOR CONSTRUCTION TIME MANAGEMENT

L.A. Oparina

Lyudmila A. Oparina

*Department of Organization of Production and Urban Economy, Ivanovo State Polytechnic University, Sheremetevsky
pr., 21, Ivanovo, Russia, 153000*

E-mail: L.A.Oparina@gmail.com



This article concerns with construction time management through the use of information modelling techniques. The author shows the factors of managing the construction time. It is very important to manage construction time at the earliest stages of the life cycle of construction projects. Participants in investment and construction projects should have the goal of managing the construction time. The article describes the software to manage of construction time. The author shows a diagram of the organization of design and construction processes using information modeling technologies. The innovation of the author's approach is in the systematic approach to the management of construction time, which involves not only the use of information modelling technologies, but also the construction project management changing, namely: the customer's involvement into time scheduling processes, implementation of project management, information modelling.

Key words: *construction, information modelling technology, Building Information Model, construction time, time schedule, arrow diagram*

For citation:

Oparina L.A. Application of information modeling technologies for construction time management. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 48-55 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: *10.52957/27821919_2021_2_48*



At present active digitization of all branches of economy and vital activity of man and society is taking place, which in the Russian Federation initiated by the National project «Digital Economy». All business processes in modern companies, including those in the construction industry, are undergoing to the digital transformation. Digitalisation in construction and the management of investment and construction projects is closely linked to information modelling (IMT) and Building Information Model (BIM) technologies. In the world's practice of design, construction and operation of buildings and structures these technologies are developing very rapidly. The new software products are appearing, a methodology for working in a digital environment is being created, and standard technical documents are appearing. In Russia this process was officially started in 2014 with the emergence of a plan for the staged implementation of information modelling technologies in the field of industrial and civil engineering. According to the Decree of the Government of the Russian Federation of 05.03.2021 No. 331, "... the formation and maintenance of the information model of the capital construction object is provided by the developer, the technical customer, the person providing or preparing the investment justification, and (or) the person responsible for the operation of the capital construction object, if the contract on the preparation of project documentation for the construction, reconstruction of the capital construction object, financed with the involvement of the budgets of the budget system of the Russian

Federation, is concluded after January 1, 2022 ...". Thus, the introduction of information modelling technologies in our country is legislated. Their implementation is aimed at achieving two global objectives: the construction costs and construction time reducing, and improving quality and organizational and technological reliability [1]

Time management is one of the largest problems of modern construction production worldwide. According to McKinsey, the most major projects are completed in excess of cost and time (Figure 1). Each additional month of delay in the construction of large domestic industrial complexes costs the developer about 150-200 million roubles. Thus, construction time and cost are closely interrelated. According to the modern approach, the introduction of information modelling technology is an important factor in reducing the construction deadlines for installation and construction work and the implementation of investment and construction projects as a whole. It is obvious, that thoroughly study of 3D construction models of a future facility eliminates conflicts, avoiding possible difficulties in installation, which can be identified and eliminated in the process of project analysis of the model. It will be possible to prepare a multi-option plan of the future layout of construction site, select another site for construction, etc. before the start of construction work.

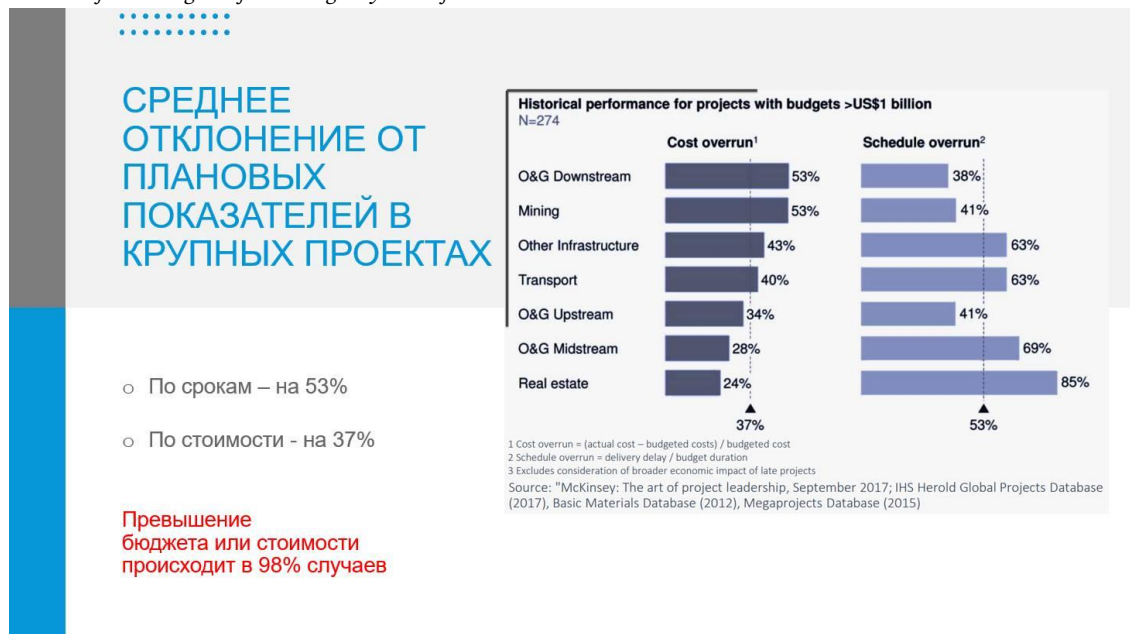


Fig. 1 Infographics on the implementation of major construction projects

(Source: McKinsey: The art of project leadership, September 2017; HIS Herold Global Projects Database (2017), Basic Materials Database (2012), Megaprojects Database (2015))

The analysis of foreign literature on the subject of construction time management has shown that modern approaches are aimed at developing time schedules with linkage to the developed BIM models of construction projects [2]. By foreign studies, a systematic approach to modelling construction processes should be noted, taking into account both the impact of installation and construction work on the characteristics of the building and the environment, and the impact of the entire building lifecycle on the choice of installation and construction work's options [3]. Various modelling techniques are applied, e.g. the Life Cycle Assessment (LCA)

methodology, which describes the interaction of processes with the environment [4]. Laser scanning, a non-contact technology for measuring 3D surfaces using special devices, laser scanners, now plays a major role in the construction of 3D models [5].

Certainly, the introduction of information modelling technologies requires additional and significant costs for the participants of investment and construction projects (purchase of computer hardware, software, staff training), but the effect of reduced project implementation period generally outweighs these costs.



When talking about construction time management, it is necessary to establish a goal-setting approach: what are the goals of the participants in investment and construction projects set for themselves? And what are deadlines are we talking about?

Specialists identify three types of construction durations: actual, design, standard. The normative of construction period is determined in accordance with SP 48.13330.2019 'Organisation of Construction'. This document is the basis for rational planning. Construction is carried out within a certain time period, defined by the construction arrow diagrams, on which the planning process is based. The determination of the construction time duration is based on investor requirements, site-specific features, and other factors affecting the implementation process. The period separating the start and completion of construction is the actual duration of the process. This calculation should take into account socio-economic factors serving to evaluate the construction performance required for the final result (commissioning of an object) to be achieved. Also, should be included method of organisation of the construction process, design solutions, required capacity, technical level of construction: "innovativeness" of the process as a whole, automation of individual processes [6, 7-9], etc.

According to the works on construction time management, it can be concluded that the main management tools are construction arrow diagrams. The project schedule in the form of a line graph or network diagram is intended to determine the sequence and timing of general construction, repair, special and installation work carried out during the construction and repair of the facility. The construction deadlines are established as a result of a rational coordination of deadlines for individual types of work, taking into account the composition and quantity of basic resources, primarily working crews and leading machinery, as well as the specific conditions of the construction area, a particular site and a number of other relevant factors. The construction schedule is used to calculate the need for labour and material resources, as well as the timing of equipment deliveries. These calculations can be carried out either for the entire project or for individual periods of work. On the basis of the construction schedule we can monitor the progress of the work and coordinate the work of the contractors. The construction deadlines calculated in the construction schedule are used as a starting point in more detailed planning documents, for example, weekly and daily schedules and shift assignments. The duration of all other technological processes is determined by the optimum number of workers that can be supplied for the job, taking into account the technology and the composition of the links recommended by the Unified Norms and Prices of Construction.

The construction schedule drawn up in the form of a line chart (Gantt chart) has a number of disadvantages:

- it does not show the relationship between the works;
- it is impossible to calculate time reserves, i.e., periods to which the entire work period can be carried over;
- it is impossible to determine the critical path of the work - the longest path determining the overall duration;
- it is impossible to identify the resources, units and activities involved.

The calculation of the operating time reserves, their correlation and the length of the critical path are determined by constructing an arrow diagram.

A network model is a set of interconnected elements to describe the technological dependence of individual activities and phases of future projects. The main planning document of the Network Planning System is the Network Schedule, which is an information and

dynamic model that reflects all the logical relationships and outputs required to achieve the ultimate planning goal. However, the network model (network graphic) also has a number of drawbacks, the main ones being the difficulty of visualizing the network for planning purposes, the inability to establish a point in the current state in order to track the situation at a given point in time, conduct a factual plan analysis, volume analysis, etc.

The Calendar and Network Plan (PCB), a combination of the Gantt's diagram and the network model, is an effective, up-to-date calendar planning tool for construction. This is the kind of graph that shows both the linear lengths of work and the relationships between them, the time reserves, the time grid, can be constructed with the help of special software.

Nowadays construction organization has many digitised processes, pre-construction planning and time management take place at a more advanced level, namely the implementation of 4D construction site models linked to the timetable (3D model of the construction site and 4D time). Visual planning technology significantly improves mutual understanding between the different project participants, prevents construction managers from making irreparable mistakes in the organisation of work on site, reduces the number of construction conflicts and makes the construction process transparent.

Currently, there are several major well-known software packages (SP) for calendar network planning, among them are: Synchro Pro, Autodesk Navisworks, Primavera, Spider Project, MS Project, Safran, Asta PP, GanttProject, PMA NetPoint. Each of them has its own functional characteristics. The choice of rational technological solutions for the use of a SP is one of the priority tasks for contractors, who are subject to the conditions determined by the tender terms of the work and the resources associated with the financing by the customer.

Nowadays construction organization has many digitised processes, pre-construction planning and time management take place at a more advanced level, namely the implementation of 4D construction site models linked to the timetable (3D model of the construction site and 4D time). Visual planning technology significantly improves mutual understanding between the different project participants, prevents construction managers from making irreparable mistakes in the organisation of work on site, reduces the number of construction conflicts and makes the construction process transparent.

There are only two software products using the information modelling methodology for construction time management. They are SINCHRO Pro (Bentley) and Autodesk Navisworks. Although both of these SP enable the implementation of information modelling technologies through the construction of 4D construction models, SINCHRO Pro has a number of significant advantages, namely:

- 1) Changing one parameter In SINCHRO Pro, all the others automatically will be changed, whereas in Navisworks it is just a static visualization without such dependencies;
- 2) SINCHRO Pro has more functionality for 4D modelling;
- 3) SINCHRO Pro has the ability to use the different versions of future construction in several 3D windows (Fig. 2), Navisworks does not have this functionality;
- 4) SYNCHRO Pro can be used for both planning and 4D modelling. The input to Synchro is project data and up-to-date information obtained during construction. Import from ifc, dwg, dxf is available, as well as getting plans from MS Project, Oracle



Primavera and many others - about 50 kinds of file interfaces in total, including import from Excel. It is also possible to import the results of 3D modelling into AutoCAD, Revit, Allplan, Tekla, Compass, Nanocad, etc. The output of SYNCHRO Pro is a construction plan (work-to-do list and Gant's charts) - weekly and monthly reports. During the construction process, the programme allows for

a plan-fact analysis of the construction, resources, time reserves, correction of the critical path. Many routine planning tasks are performed in SYNCHRO Pro automatically or semi-automatically, based on information from design models and additional input data.

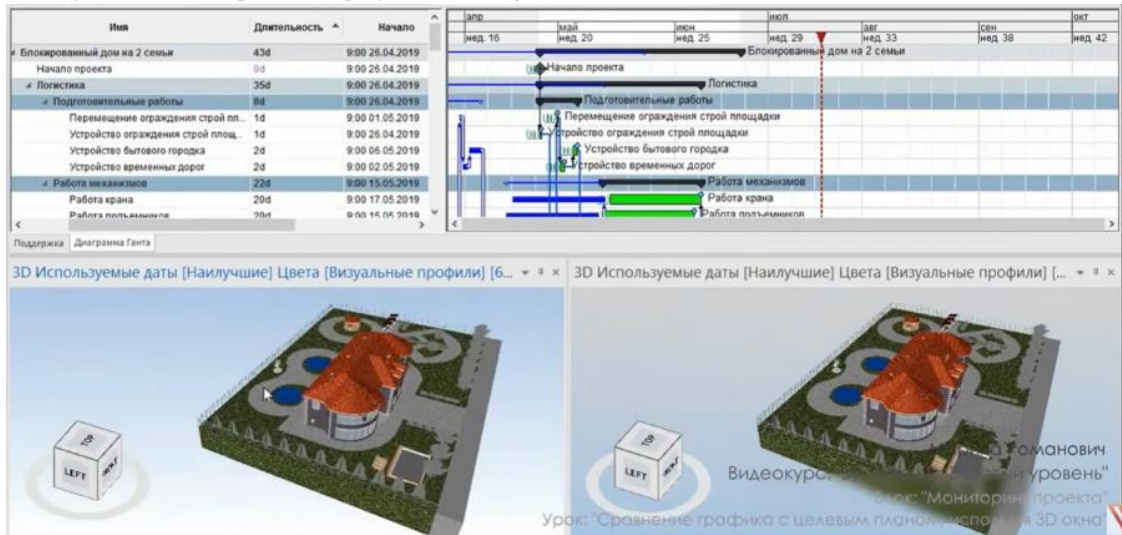


Fig. 2. SYNCHRO Pro Construction Site Design Example
(source: <https://bim.vc/>)

Thus, the information modelling technology construction management system consists of the following components:

- 1) Creating a three-dimensional model of a future object in 3D modeling programs.
- 2) Add attribute information to model components (manufacturer, material characteristics, value, etc.).
- 3) Creation of a calendar-network construction schedule in specialized programs for calendar planning based on the method of critical path.
- 4) Creation of 4D model of construction using SYNCHRO Pro or timeliner module in Navisworks.
- 5) Testing the model for intersections, collisions.
- 6) Monitoring of the current state of work performance, calculation of the completion time in case of deviation and development of organizational and technical solutions for correcting the situation on the basis of detected irregularities.
- 7) Simulation of construction scenario, analysis of possible deviation of dates, compliance with critical path dates.

Construction time management of should begin before the start of construction, during the stages of land selection and justification of investments, only such an approach will ensure that possible errors that lead to delays are minimized. The application of information modelling technologies should be applied in an integrated manner at all stages of the life cycle of the construction

facility, as presented in figure 1. 3. Thus, it should be emphasized that the analysis of the calendar itself in the process of construction and installation is only a tool for tracking construction deadlines. As a construction time management tool of a project it should be carried out at the earlier stage. It is essential that all those involved in investment projects have an interest in reducing of the planned time of construction. At present the contracting organizations are not always interested in meeting the construction deadlines, moreover, the developer, according to the Russian Federation scheme of construction organization, is not involved in the development of calendar schedules. This requires the introduction of project management and information modelling. It provides the creation of an environment in which all project participants are actually interested in shortening time frames, including buyers, lawyers, contractors, designers and builders. The organizational environment should be workable for project management system. The developer must be the most interested in result. The developer should formulate the terms of the contracts as to save time more profitably than to justify the reasons for delays. The developer must understand that engineering costs (significantly higher than design costs) are recovered by reducing the time and cost of construction. Also the developer should optimise procedures and align the interests of supporting units so that lawyers, contractors, purchasers, etc. do not delay the signing of contracts. It is necessary to link their interests to the results of the projects

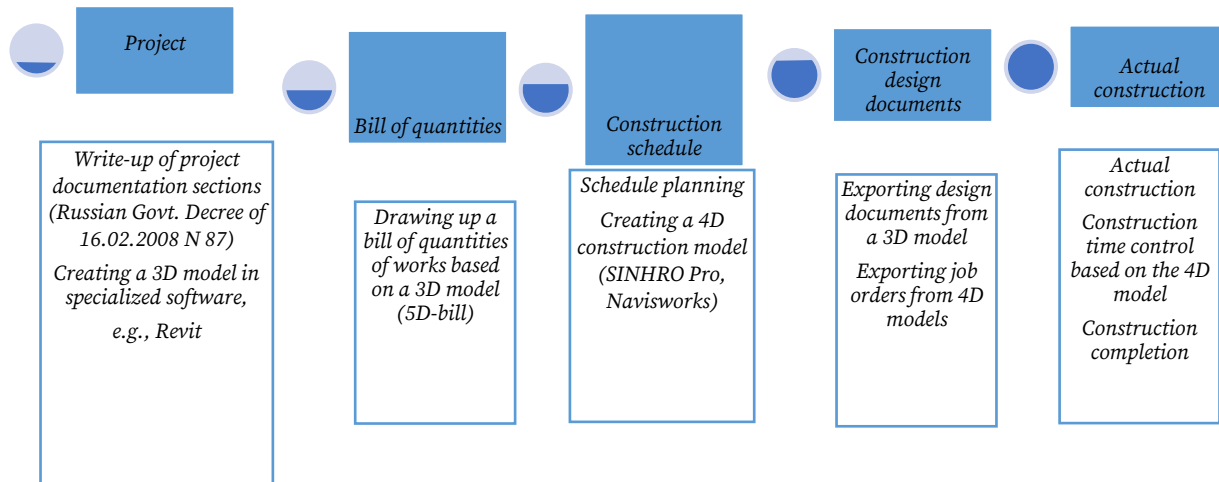


Fig. 3. Basic design and construction processes with information modelling technologies

REFERENCES

1. **Fedosov S.V., Oparina L.A., Mailyan A.I., Petrukhin A.B., Fedoseyev V.N.** Russian and international experience in simulation of the organizational and technological reliability of modern construction production. *Smart Composite in Construction*. 2021. V. 2. N 1. P. 40-46. URL: http://comin-con.ru/index.php/tor/V2N1_2021 (in Russian).
2. **Lianying Zhang, Xiang Zhang, Teng Ma.** Management of Construction Schedules Based on Building Information Modeling Technology. *Emerging Technologies for Information Systems, Computing, and Management*. Springer, NY. 2013. V.1. P. 81-88.
3. **Cormen T.H., Leiserson C.I., Rivest R.L., Stein C.** Algorithms: construction and analysis. 2nd edition, Translated from English, Moscow: Williams Publishing house. 2010. 1296 p.
4. **Bilec M., Ries R., Scott Matthews H.** Life-Cycle Assessment Modeling of Construction Processes for Buildings. *Journal of Infrastructure Systems*. 2010. V. 16. N 3. P. 199-205.
5. **Vatagin A.A., Lebedev A.E., Kapranova A.B., Gudanov I.S.** Laser scanning technology in assessing the volume of bulk materials. *Smart Composite in Construction*. 2021. V. 2. N 1. P. 20-28. URL: http://comin-con.ru/index.php/tor/V2N1_2021 (in Russian).
6. **Rusakov V.V.** Time management of the project for the construction of road pavement of capital type. *Bulletin of Modern Research*. 2018. N 12.7(27). P. 396-400 (in Russian).
7. **Vohidov A.A.** Organization of time management in construction. *Vector of Economics*. 2020. N 11(53). P. 76 (in Russian).
8. **Kislov Ya.A.** Application of information modeling in monitoring and managing the construction time of an object. *Synergy of Science*. 2018. N 23. P. 1264-1268 (in Russian).
9. **Salnikov K.E.** Domestic experience in reducing the duration of construction. *Finance and Management*. 2020. N 4. P. 41-57. DOI: 10.25136 /2409-7802. 2020. 4.34390. URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=34390 (in Russian).

Received 16.06.2021
Accepted 21.06.2021



УДК 693.78

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОКРЫТИЯ

В.М. Дудин, А.Э. Окутин, Н.С. Смекалов

Владимир Михайлович Дудин

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: dudinvm@ystu.ru

Артём Эдуардович Окутин

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: okutin1997@mail.ru

Никита Сергеевич Смекалов

Кафедра гидротехнического и дорожного строительства, Ярославский государственный технический университет, ул. Кривова, 40, Ярославль, Российская Федерация, 150048

E-mail: nikitasmekalov@gmail.com



В зимний период происходит интенсивное обледенение поверхности автомобильных дорог, что приводит к ухудшению безопасности дорожного движения. Для обеспечения безопасного движения используются мероприятия зимнего содержания – обработка поверхности покрытия химическими реагентами, что может наносить ущерб окружающей среде. Для снижения негативного воздействия реагентов и обеспечения безопасности дорожного движения перспективным является включение антигололёдных добавок в состав асфальтобетона, что приводит к таянию льда на покрытии или снижению сцепления льда с асфальтобетоном, который может быть убран щётками снегоуборочных машин. В предложенной работе рассматривается влияние технической соли на основные свойства асфальтобетона, при частичной или полной замене минерального порошка в щебёночно-мастичной асфальтобетонной смеси.

Ключевые слова: асфальтобетонное покрытие, зимнее содержание, безопасность, противогололёдная добавка в асфальтобетон, основные свойства асфальтобетона

Для цитирования:

Дудин В.М., Окутин А.Э., Смекалов Н.С. Повышение безопасности асфальтобетонного покрытия. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 56-63 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_56



UDC 693.78

IMPROVING THE SAFETY OF ASPHALT PAVEMENT

V.M. Dudin, A.E. Okutin, N.S. Smekalov

Vladimir M. Dudin

*Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st., 40,
Yaroslavl, 150048, Russia*

E-mail: dudinvm@ystu.ru

Artyom E. Okutin

*Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st., 40,
Yaroslavl, 150048, Russia*

E-mail: okutin1997@mail.ru

Nikita S. Smekalov

*Department of Hydraulic Engineering and Road Construction, Yaroslavl State Technical University, Krivova st., 40,
Yaroslavl, 150048, Russia*

E-mail: nikitasmekalov@gmail.com



In winter, there is an intense icing of the surface of highways, which leads to a deterioration in road safety. To ensure safe movement, winter maintenance measures are used – treatment of the pavement surfaces with chemical reagents, which can cause damage to the environment. To reduce the negative impact of reagents and ensure road safety, it is promising to include anti-ice additives in the composition of asphalt concrete, which leads to the melting of ice on the surface or to reduce the adhesion of ice to asphalt concrete, which can be removed by snowblower brushes. The proposed work deals with the influence of technical salt on the basic properties of asphalt concrete, with partial or complete replacement of mineral powder in the crushed stone-mastic asphalt concrete mixture.

Key words: *asphalt concrete coating, winter maintenance, safety, anti-icing additive in asphalt concrete, basic properties of asphalt concrete*

For citation:

Dudin V.M., Okutin A.E., Smekalov N.S. Improving the safety of asphalt pavement. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 56-63 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_56



ВВЕДЕНИЕ

В условиях климата большей части России (среднесуточная температура в зимний период которого ниже 0 °С) наблюдается обледенение поверхности автодороги, что приводит к увеличению транспортных происшествий и снижению скоростного режима. Главная проблема – безопасность движения при появлении гололеда на покрытии дороги.

Для повышения безопасности дорожного движения в зимнее время используются различные методы борьбы с гололедом. Они обладают определенными преимуществами и недостатками. В Австрии, Финляндии, Германии используют фрикционный метод, соединяя песок и каменную крошку, и обрабатывают полученным составом дороги и тротуары. Эта технология довольно экологична, но такая смесь задерживается на покрытии не более чем на полчаса [1].

В Канаде, США используют хлорид магния ($MgCl_2$). Это очень эффективный реагент, но он гораздо дороже, чем техническая соль. Хлорид магния вызывает более сильную коррозию металлов [1].

В Швеции используют смесь песка с горячей водой температурой 90–95 °С и распределяют на улицах и дорогах. Горячий песок плавляется в лёд и делает поверхность шероховатой. Этой обработки хватает на 4–6 дня или пока не пройдет новый снегопад [1].

В России широко применяется обработка при помощи соли ($NaCl$), а также пескосоляной смесью, которая состоит из песка и соли в соотношении примерно 3 к 1. Такой способ борьбы с гололедом относительно дёшев, однако имеет массу недостатков: частицы этой смеси свободно разносятся ветром по округе и в достаточно большом количестве попадают на сельскохозяйственные поля; пескосоляная смесь является достаточно агрессивной, способствует быстрой коррозии кузовов автомашин, не говоря уже о пешеходах, подошва обуви быстро разъедается реагентами; песок, попадая в ливневую канализацию, забивает её, поэтому такой метод повышения безопасности движения в крупных городах стараются не использовать.

Зимняя скользкость, образующаяся на дорогах, значительно снижает безопасность движения автомобилей, являясь причиной 50–60% дорожно-транспортных происшествий, связанных с неблагоприятными условиями, хотя продолжительность такого состояния составляет всего 15–20% за весь зимний период [2].

В настоящее время в РФ и за рубежом выполняются исследования и экспериментальная проверка возможности использования в качестве материала покрытий автомобильных дорог антигололедных асфальтобетонов [2].

Экспериментальными исследованиями установлено, что добавка в состав асфальтобетона 5% немолотой технической соли обеспечивает высокие противогололедные свойства асфальтобетонных покрытий. Экспериментально доказано расширение интервала пластичности битума в асфальтобетоне в присутствии антигололедных добавок. Это позволяет прогнозировать надежность работы покрытий из антигололедного асфальтобетона в более широком интервале температур [3].

Российскими учёными были проведены исследования по применению в дорожном строительстве антигололедной добавки, полученной совместным помолом карбонатной породы известняка, смеси хлоридов и водорастворимых фосфатов щелочных и щелочноземельных металлов [4].

При добавке такого минерального порошка вместо традиционного из доломитовой муки наблюдалось повышение прочности и теплостойкости покрытий [5].

В России учёными разработаны противогололедный наполнитель «Грикол» и технология его применения в составах асфальтобетонных смесей для придания покрытию антигололедных свойств. Использование такой добавки защищает покрытие от гололеда в течение 5–6 лет [6]. При взаимодействии снега, льда с наполнителем «Грикол» на поверхности образуется незамерзающий раствор, ослабляющий сцепление снежно-ледяного образования с покрытием [7]. При производстве асфальтной смеси достаточно добавить в нее всего до 6% соли ($NaCl$), и такое дорожное покрытие сможет своими собственными силами бороться с образующейся наледью [8]. Оптимальное количество битума в составах асфальтобетонной смеси необходимо уточнять в каждом конкретном случае на основе результатов лабораторных испытаний [9].

ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКАЯ ЧАСТЬ

В настоящее время в России действуют новые ГОСТы на асфальтобетонные смеси, это ГОСТ 58406.1-2020 и ГОСТ 58406.2-2020, а также ранее принятые – ГОСТ 31015-2002 и ГОСТ 9128-2013, поэтому необходимы исследования по применению добавок технической соли в составе асфальтобетонной смеси для новых технических требований, а также сравнение полученных результатов с ранее принятыми техническими требованиями.

В лаборатории дорожного хозяйства ЯГТУ проведены экспериментальные исследования по добавке технической соли в состав щебёночно-мастичного асфальтобетона типа ЩМА-8 по ГОСТ 58406.1-2020 при частичной и полной замене минерального порошка.

Для проведения испытаний были использованы составы 1, 2, 3 без добавления противогололедной добавки, составы 4, 5, 6 имели 50% противогололедной добавки и 50% минерального порошка, а составы 7, 8, 9 имели полностью заменённый минеральный порошок противогололедной добавкой. Исследования проводились при температуре (20 ± 2) °С. Результаты приведены на рис. 1–4.

При определении объёмной плотности по ГОСТ 58401.10-2019 было отмечено, что добавка технической соли приводит к уменьшению плотности асфальтобетона за счёт уменьшения количества минерального порошка (рис. 1). Насыпная плотность технической соли составляет $1,24 \text{ т/м}^3$, а минерального порошка – $1,89 \text{ т/м}^3$.



Рис. 1. Объемная плотность образцов
Fig. 1. Bulk density of samples

Добавка технической соли незначительно увеличивает прочность асфальтобетона на сжатие, что можно объяснить повышением вязкости битумного вяжущего при воздействии на него соли (рис. 2). Следует отметить, что все сформованные образцы имеют прочность на сжатие выше 2,5 МПа, рекомендованного ГОСТ 9128-2013. Данный показатель не является основным по ГОСТ 58406.1-2020, однако было принято решение выполнить его определение.

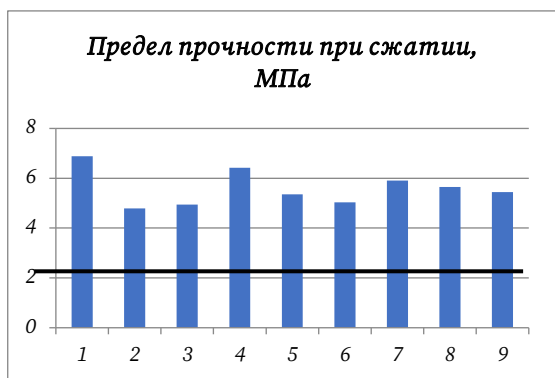


Рис. 2. Предел прочности при сжатии
Fig. 2. Compressing strength

Испытание на водонасыщение проводилось с использованием вакуумной установки. Обработка результатов показала, что полная замена минерального порошка на техническую соль приводит к существенному снижению водонасыщения (рис. 3) и повышению водостойкости асфальтобетона (рис. 4). Водонасыщение всех образцов было ниже рекомендуемых по ГОСТ 31015-2002, а коэффициент водостойкости образцов был выше допустимого значения, рекомендованного ГОСТ 31015-2002, которое не должно быть ниже 0,75. По ГОСТ 58406.1-2020 значение коэффициента водостойкости не должно быть ниже 0,85. Этому показателю соответствуют составы, у которых была произведена полная замена минерального порошка на противогололёдную добавку.

Дальнейшие испытания были проведены по изучению образования наледи на поверхности асфальтобетона с различным содержанием технической соли в образцах асфальтобетона при температуре минус (20±2) °С.

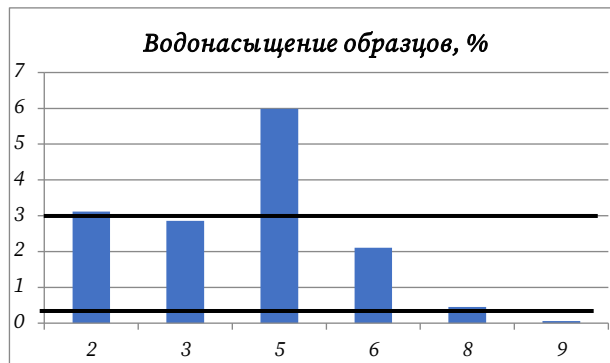


Рис. 3. Водонасыщение образцов
Fig. 3. Water saturation of samples

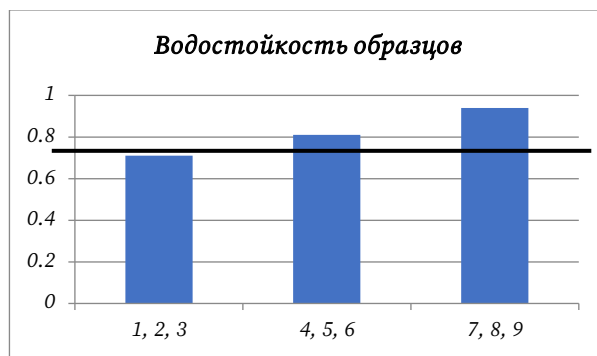


Рис. 4. Водостойкость образцов
Fig. 4. Water resistance of samples

На рис. 5 показан цикл заморозки образцов, предварительно смоченных водой. Данное исследование показало, что на образцах под номерами 1 (без противогололёдной добавки) и 2 (замена 50% минерального порошка на противогололёдную добавку) через 15 минут при температуре минус (20±2) °С образовалась корка льда, на третьем образце (минеральный порошок заменён на противогололёдную добавку полностью) тонкая корка льда образовалась лишь через 1,5 часа. По истечении 24 часов заморозки все образцы обледенели, однако с третьего образца корку льда легко было счистить щёткой. Также было проведено еще несколько циклов по заморозке и оттаиванию образцов.



Рис. 5. Цикл заморозки образцов
Fig. 4. Sample freeze cycle



РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения экспериментальных исследований были получены следующие результаты:

- образцы асфальтобетонной смеси по объемной плотности, прочности на сжатие, водонасыщению, водостойкости отвечают требованиям ГОСТ 31015-2002 и ГОСТ 58406.1-2020;

- результаты проведенных исследований показали, что введение добавки NaCl в асфальтобетонную смесь не ухудшает такие показатели, как плотность, прочность. При этом видна положительная динамика роста водостойкости образцов на 20% и заметно снижается показатель водонасыщения с 2 до 0,4%;

- исследование образцов по работе противогололедной добавки показало, что замена традиционного минерального порошка противогололедной добавкой увеличит сцепление автомобильных колес с покрытием автодороги при температуре до -10 °С, а при более низкой температуре облегчит очистку покрытия за счёт уменьшения адгезии образовавшегося льда к поверхности асфальтобетонного покрытия и снизит расход реагентов при зимнем содержании автомобильных дорог.

ВЫВОДЫ

Применение хлористого натрия вместо минерального порошка в исследованных соотношениях не ухудшают основные свойства щебеночно-мастичного асфальтобетона.

Изготовление асфальтобетонных смесей с добавлением противогололедной добавки технической соли является перспективным направлением, так как это снижает затраты на зимнее содержание автомобильных дорог. Требуется продолжение научных исследований по проверке ранее полученных рекомендаций по введению противогололедных добавок в асфальтобетонные смеси при использовании технических требований новых ГОСТов. Рис. № – название рисунка

ЛИТЕРАТУРА

1. **Дудин В.М., Игнатъев А.А.** Зимнее содержание автомобильных дорог: Монография. Ярославль: Издат. дом ЯГТУ. 2019. 211 с.
2. **Котухов А.Н., Духовный Г.С.** Некоторые особенности асфальтобетона с добавками технической соли, обладающего противогололедными свойствами. Современные проблемы строительного материаловедения: Седьмые академические чтения РААСН. Белгород. 2001. С. 121-124.
3. **Исаев А.В., Салихов М.Г.** Исследование антигололедных и физико-механических свойств щебеночно-мастичных асфальтобетонов с противоморозными добавками. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 1. С. 296-301.
4. **Ковалев Н.С., Отарова Е.Н.** Асфальтобетонные покрытия с модифицированным противогололедным минеральным порошком. Модели и технологии

природообустройства (Региональный аспект). 2016. №2. С. 70-79.

5. **Ковалев Н.С., Ромасев В.И., Князев В.А.** Асфальтобетонные покрытия автомобильных дорог с противогололедными компонентами. Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Дорожно-транспортное строительство. 2007. № 5. С. 135-141.
6. **Ковалев Н.С.** Улучшение экологии водных ресурсов. Международная научно-практическая Интернет-конференция «Современное экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты рационального природопользования», посвященная 25-летию ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия». с. Соленое Займище: ФГБНУ «Прикаспийский научно-исследовательский институт аридного земледелия», 2016. С. 299-301. URL: <http://pni-iaz.ru/d/778105/d/0.titulnyylist.pdf>
7. **Ковалев Н.С., Ромасев В.И., Князев В.А.** Уменьшение скользкости асфальтобетонных покрытий в зимний период времени. Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. 2007. № 7. С. 117-123.
8. **Ромасев В.И.** Адгезионные свойства асфальтобетонных покрытий с противогололедным минеральным порошком. Библиографический указатель депонированных работ / РОССТРОЙ ФГУП ВНИИНТПИ. 2006. № 1. Регистр. номер 12024. 14 с.
9. **Розов Ю.Н., Розов С.Ю., Френкель О.В.** Противогололедные материалы для борьбы с зимней скользкостью на автомобильных дорогах и городских улицах: обзорная информация. М.: ФГУП «Информавтодор». 2006. 104 с.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Принята к опубликованию 21.06.2021

REFERENCES

1. **Dudin V.M., Ignatiev A.A.** Winter maintenance of automobile roads. Yaroslav: Izdat. dom YAGTU. 2019. 211 p. (in Russian).
2. **Kotukhov A.N., Duhovnyj G.S.** Some features of asphalt concrete with additives of technical salt, which has anti-icing properties. *Sovremennye problemy stroitel'nogo materialovedeniya: Sed'mye akademicheskie chteniya RAASN. Belgorod.* 2001. S. 121-124. (in Russian).
3. **Isaev A.V., Salihov M.G.** Investigation of anti-ice and physico-mechanical properties of crushed stone-mastic asphalt concrete with antifreeze additives. *Izvestiya Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta.* 2010. N 1. P. 296-301 (in Russian).
4. **Kovalev N.S., Otarova E.N.** Asphalt concrete coatings with modified deicing mineral powder. *Modeli i tekhnologii prirodobustroystva (Regional'nyj aspekt).* 2016. N 2. P. 70-79 (in Russian).
5. **Kovalev N.S., Romasev V.I., Knyazev V.A.** Asphalt-concrete road coverings with anti-icing components. *Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Dorozhno-transportnoe stroitel'stvo.* 2007. N 5. P. 135-141 (in Russian).



6. **Kovalev N.S.** *Improving the ecology of water resources. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya Internet-konferenciya «Sovremennoe ekologicheskoe sostoyanie prirodnoj sredy i nauchno-prakticheskie aspekty racional'nogo prirodopol'zovaniya», posvyashchennaya 25-letiyu FGBNU «Prikaspijskij nauchno- issledovatel'skij institut aridnogo zemledeliya». s. Solenoe Zajmishche: FGBNU «Prikaspijskij nauchno- issledovatel'skij institut aridnogo zemledeliya». 2016. P. 299-301. URL: <http://pniiaz.ru/d/778105/d/0.titulnyylist.pdf> (in Russian).*
7. **Kovalev N.S., Romasev V.I., Knyazev V.A.** *Reducing the slipperiness of asphalt concrete surfaces in winter. Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arhitektura. 2007. N 7. P. 117-123 (in Russian).*
8. **Romasev V.I.** *Adhesive properties of asphalt concrete coatings with deicing mineral powder. Bibliograficheskij ukazatel' deponirovannyh rabot / ROSSTROY FGUP VNIINTPI. 2006. № 1. Registr. nomer 12024. 14 p. (in Russian).*
9. **Rozov Yu.N., Rozov S.YU., Frenkel' O.V.** *Deicing materials for combating winter slipperiness on highways and city streets. Overviewinformation. M.: FGUP «Informavtodor». 2006. 104 p. (in Russian).*

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021



УДК 711.001.891

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА: ЧАСТЬ 1

А.И. Мохов¹, Л.А. Мохова²

Андрей Игоревич Мохов

¹Кафедра автоматизации и электроснабжения, НИУ Московский государственный строительный университет, Ярославское шоссе, 26, Москва, Российская Федерация, 150048

E-mail: andrey.i.mokhov55@gmail.com

Лариса Александровна Мохова

²Учебно-методическое управление, Российский новый университет, ул. Радио, 22, Москва, Российская Федерация, 105005

E-mail: mokhova.larisa@gmail.com



Рассмотрен подход к формированию пула перспективных научных исследований современного университета. Для их структурирования решается задача моделирования развития территории, обслуживаемой деятельностью университета. Моделирование проводится с использованием комплексотехники. Для повышения наглядности функционирования полученных моделей применяется инфография. Развитие территорий определяется, в первую очередь, устойчивым функционированием ее инфраструктуры, а также экологической безопасностью расположенных на ней объектов. Применяемый подход позволяет сформировать модели взаимодействия стейкхолдеров, заинтересованных в интеллектуальном развитии территории. Рассмотрена модель создания интеллектуального кластера. Представлен пример формирования территории инновационного развития с научно-технологическим кластером Ступинского муниципального района Московской области. Сделан вывод о возможности развития территории при использовании экологичного интеллектуального кластера.

Ключевые слова: *альтернативные исследования, инновации, инновационные территории, экологические интеллектуальные кластеры, научные исследования, комплексотехника, технонаука*

Для цитирования:

*Мохов А.И., Мохова Л.А. Моделирование направлений научных исследований в строительстве современного университета: часть 1. Умные композиты в строительстве. 2021. Т. 2. №. 2. С. 64-74
URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021*

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_64



UDC 711.001.891

MODELING THE RESEARCH DIRECTION IN THE CONSTRUCTION OF A MODERN UNIVERSITY: PART 1

A.I. Mokhov¹, L.A. Mikhova²

Andrey I. Mokhov

¹Department of Automation and Power Supply, Moscow State University of Civil Engineering, Yaroslavl highway, 26, 129337, Moscow, 150048, Russia

E-mail: andrey.i.mokhov55@gmail.com

Larisa A. Mikhova

²Educational and Methodological Department, Russian New University, Radio ave., 22, Moscow, 105005, Russia

E-mail: mikhova.larisa@gmail.com



The article shows how a modern university focuses its scientific and educational activities on the development of the territory, the jobs of which this university provides with personnel. The approach to the formation of the pool of scientific research of a modern university is considered. To structure promising scientific research, the development of the territory served by the university's activities is simulated using complex engineering. An infographic was used to improve the visibility of the functioning of the obtained models. The development of territories is determined primarily by the steady functioning of its infrastructure. The applied approach allows to form models of interaction of stakeholders interested in intellectual development of the territory. The model of creating an intelligent cluster is considered. The article presents an example of the formation of the territory of innovative development with the scientific and technological cluster of the Stupinsky municipal district of the Moscow region. The possibility of developing an intellectual territory using an environmental smart clusters is concluded.

Key words: *alternative research, innovation, innovation territories, environmental smart clusters, scientific research, complex engineering, technoscience*

For citation:

Mokhov A.I., Mokhov L.A. Modeling the research direction in the construction of a modern university: part 1. Smart Composite in Construction. 2021. Vol. 2. No 2. P. 64-74 URL: http://comincon.ru/index.php/tor/issue/view/V2N2_2021

DOI: 10.52957/27821919_2021_2_64



ВВЕДЕНИЕ

В современной научной сфере статус «локомотива прогресса» переходит от традиционной науки к технонауке, что приводит к изменению функционирования традиционной науки, к модернизации привычных технологий осуществления научно-исследовательской деятельности [1]. Научная деятельность университетов, заключающаяся в проведении научно-исследовательских, опытно-конструкторских, технологических и других работ также требует изменений. Речь при этом идет не о тотальном перевоплощении университетской науки в какие-то новые формы, а, скорее, о возникновении внутри нее новых динамических констелляций¹. Такой подход позволяет проводить альтернативные научные исследования и получить дополнительные возможности в устойчивом развитии университета.

Важным представляется тот факт, что, проводя фундаментальные и прикладные научные исследования, экспериментальные разработки, экспертные и аналитические работы, университет готовит кадры, ориентированные на продвижение новых подходов в реализации практической деятельности. При реализации университетских программ будущие работодатели выпускников университета закладывают в их компетенции умения использовать в исследованиях инновационные разработки своих фирм. Таким образом, на пересечении направленных воздействий со стороны образовательного учреждения и производственных структур осуществляется активное воздействие на видение будущих разработчиков и потребителей наукоемкой продукции, способных сформировать повестку развития общества.

Для описания организационного механизма, заложенного в развитие научных исследований современного вуза, применим комплексотехнику [2-6]. Отличия комплексотехники от традиционно обслуживающей науку системотехники [3] позволяют применить в научных исследованиях возможность технонауки с кросс-дисциплинарным подходом. Еще одним из аспектов комплексотехники, позволяющих этой научно-практической дисциплине сформировать методическое обеспечение технонауки, становится применение инфографических моделей².

МОДЕЛЬ ЦИКЛА НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОВРЕМЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

Каждое исследование, проводимое в университете, может быть представлено моделью жизненного цикла, показанного на рис. 1. Инфографическая модель иллюстрирует особенности выбора направлений исследований в современном университете. Эти исследования на большую аудиторию потребителей из разных областей использования полученных результатов. На рисунке показано, что потребителем данных результатов может быть как сам исследователь (исследование «для себя»³), так и потребители, не имеющие

отношения к этой области, но испытывающие потребность в данных результатах (рис. 1).



Рис. 1. Инфографическая модель цикла исследования

Fig. 1. Infographic model of a research cycle

В первом случае задача проведения исследования осуществляется на основе системного подхода. Во втором случае, когда учитываются все потребители результата исследования, применяют комплексный подход. Системный подход к исследованию заложен в паспорте специальности Высшей аттестационной комиссии, в котором определена область исследования данной специальности за счет введения границ со смежными областями исследования других специальностей.

Применение комплексного подхода дает возможность описания объекта исследования с учетом опыта исследований всех областей исследования, на пересечении которых находится этот объект. Это позволяет получить набор актуальностей и пунктов новизны для широкого спектра потребителей. При этом методологические средства, разработанные в смежной области исследования, могут быть использованы для решения задач основной области исследования [5].

Для ситуации, когда направление исследования, сформированное в области исследования 1, может быть перемещено в области 2...N, инфографическая модель приобретает вид, приведенный на рис. 2. «Пунктирные» стрелки обозначают пути получения проекций направлений исследований для каждой из областей.

В зависимости от освоенности (количества проведенных научно-исследовательских работ, реализованных проектов, патентов и т.д.) области исследования, такая область имеет большую площадь по отношению к менее изученной, как показано на рис. 2.

Показанная на рис. 3 инфографическая модель может быть преобразована в модель жизненного цикла, представленного «сверткой» типовой «петли качества» в несколько (N) последовательно соединенных организационно-технологических цикла исследования (ОТЦИ), соответствующих используемым технологиям производства и потребления

«инфография», позволяющего совмещать различные информационные модели на основе универсального графического языка [7].

¹ Констелляция – взаимное расположение и взаимодействие различных факторов, стечение обстоятельств.

² Понятие «инфографическая модель» создано профессором В.О. Чулковым, создателем научного направления



результатов исследования. Прохождение произведенного продукта исследования в каждом ОТЦИ преобразует этот продукт в средство согласования норм деятельности производителя и потребителя результатов исследования. Тем самым результат исследования, полученный в рамках одной области исследования, может быть применен в других областях исследования. Обмен нормами «производство-потребление» результатов исследования зафиксирован на рис. 3 инфографической моделью жизненного цикла исследования с разными фигурами участников исследования, определяющими изменение норм производства и потребления продукта исследования при сближении их видений изменения (переустройства) продукции соответственно. В областях 1, 2 и N представлены ОТЦИ 1, ОТЦИ 2 и ОТЦИ N с фигурами, имеющими окраску контура, аналогичную приведенным на рис. 2, с соответствующими обозначениями:

- деятельности исследователя



- потребителей

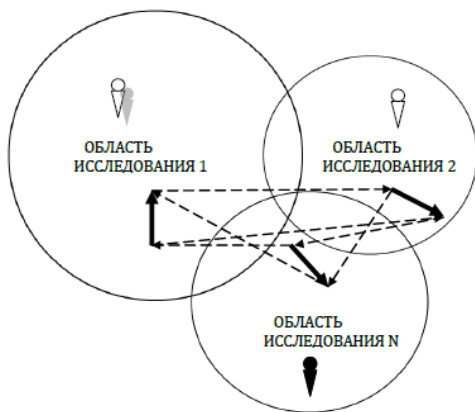


Рис. 2. Инфографическая модель интеграции областей исследования университета в условиях обеспечения кросс-модальности исследовательских транзакций

Fig. 2. Infographic model for integrating university research areas in terms of ensuring cross-modality of research transactions

ОТЦИ 1, 2,... N обмениваются моделями из жизненных циклов исследований соответствующих областей исследований 1, 2,...N. Фигура, возникающая на пересечении областей исследования, соответствует перспективной деятельности, оперирующей набором технологий каждого ОТЦИ. Как показано в работе [5], модели для проводимого исследования могут быть взяты из областей исследования, относящихся как к техническим, так и гуманитарным наукам. Применение комплексотехники позволяет использовать средства решения задач, разработанных в кросс-дисциплинарной области исследования, для решения задач в других

областях, в которых данные средства не применялись. Таким образом, «портфель» исследований университета может включать разнонаправленные исследования в их комплексном объединении. Этот подход позволяет сформировать научные школы университета и обеспечить их устойчивое развитие.

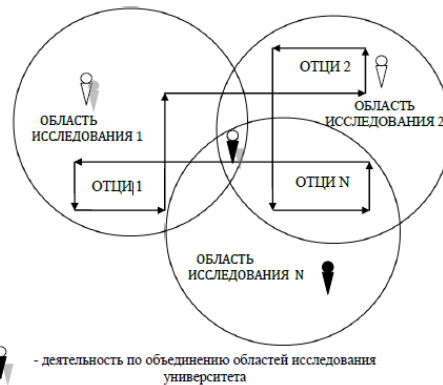


Рис. 3. Инфографическая модель интеграции организационно-технологических циклов в составе жизненного цикла научных исследований университета

Fig. 3. Infographic model of integration of organizational and technological cycles as part of the life cycle of scientific research of the university

МОДЕЛЬ ТЕРРИТОРИИ, ОБСЛУЖИВАЕМОЙ НАУЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ УНИВЕРСИТЕТА

Научная работа современного университета ориентирована на создание инноваций и формирование интеллектуальных территорий. Классическими примерами осуществления такой деятельности являются Стэнфордский университет и Силиконовая долина в США, Бангалорский университет и Бангалорский кластер в Индии, технический университет Эйндховена и технопарк компании Филипс в Голландии и так далее. Инновационная территория при этом будет не только производить инновации, но и создавать рабочие места, которые возникают за счет внедрения инноваций, а также наполнять их кадрами, подготовленными образовательным учреждением. Интеллектуальная территория может быть представлена интеллектуальным городом. В России, например, таковым может стать город Дубна, базирующийся на мощном университетском центре и включенный Минстроем в список «умных городов».

Таким образом, в отличие от территорий инновационного развития³ (ТИР), интеллектуальные территории будут содержать не только подсистемы, задействованные в повышении научно-технического прогресса и обеспечивающие социально-экономическое и экологическое развитие территории, но и систему, формирующую организационно-деятельностное развитие (ОДР) территории. Такая система может быть реализована в форме интеллектуального

конкурентоспособной наукоемкой продукции, а также оказание услуг по ее созданию [8].

³ ТИР – это территория, находящаяся в границах одного или нескольких муниципальных образований, основу экономического развития которой составляет создание и реализация



кластера⁴, основу которого призван формировать университет. Исследование взаимодействия таких систем может быть проведено на моделях, показанных на рис. 4-6 [9].

Предположим, что мы имеем на территории научно-производственный кластер (инновационный, научно-технологический, др.), который преобразует за счет своего

функционирования объект - «Территория» в «Территорию инновационного развития». Кибернетическая схема преобразования показана на рис. 4. Таким образом, мы определяем научно-производственный кластер как средство преобразования статуса территории до востребованной в экономике страны.

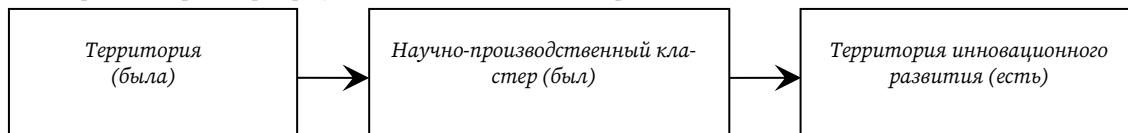


Рис. 4. Модель преобразования территории за счет функционирования научно-производственного кластера

Fig. 4. Model of territory transformation due to the functioning of the scientific and production cluster

Допустим, в настоящее время «Интеллектуальная территория» преобразует сложившийся в настоящее время кластер (научно-технологический) в «Интеллектуальный кластер». Кибернетическая схема преобразования показана

на рис. 5. Тем самым мы определяем интеллектуальную территорию как средство преобразования научно-производственного кластера в кластер интеллектуальный.

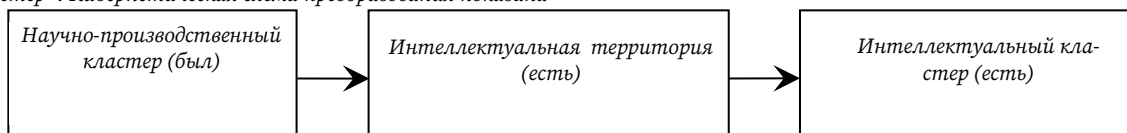


Рис. 5. Модель преобразования кластера за счет возможностей интеллектуальной территории

Fig. 5. The Model of cluster transformation due to the capabilities of the intellectual territory

Предположим, мы построили на основе университета экологический интеллектуальный кластер, который преобразует «Территорию инновационного развития» в «Интеллектуальную территорию». Предлагаемое упрощенное

моделирование, как нам представляется, позволит определить условия, при которых становится возможным развитие интеллектуальных территорий. Для этого объединим модели, представленные на рис. 4 и 5, в одну и приведем на рис. 6.

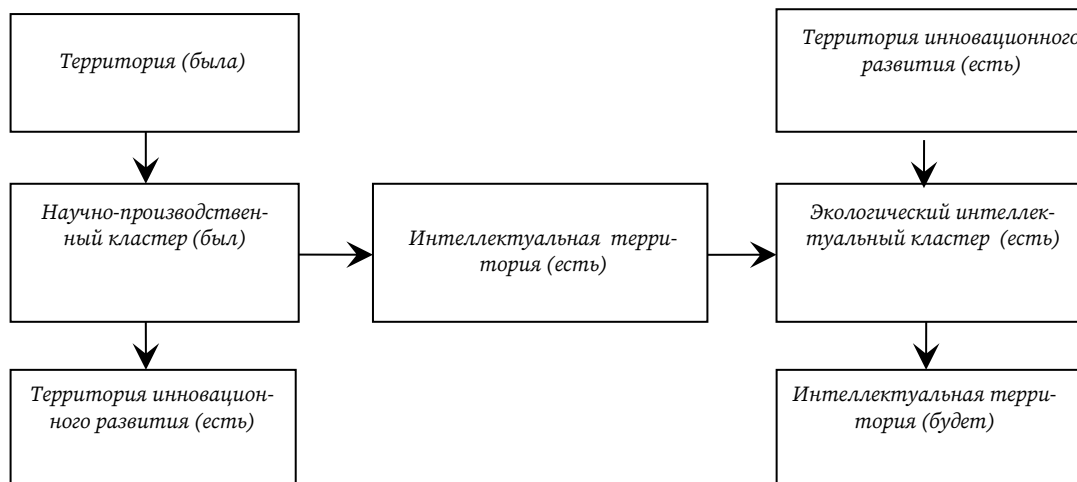


Рис. 6. Модель развития интеллектуальной территории

Fig. 6. Model of intellectual territory development

⁴ Интеллектуальный кластер имеет в составе: центры развития в бизнес-организациях, фабрики мысли (Think Tank), центры региональных стратегических разработок и др. Интеллектуальный кластер, ориентирован на оказание интеллектуальных услуг, таких как: стратегический маркетинг инновационных продуктов и технологий, НИР и

НИОКР (в том числе, на подряде), подготовка лидеров – специалистов инновационных проектов, сопровождение реализации инновационных проектов, повышение квалификации управленческих кадров и т.д. (Сообщение П.В. Баранова на II Интернет-съезде ОРГИ (Объединенной рабочей группы по инновациям) 24.04. 2013 г.)

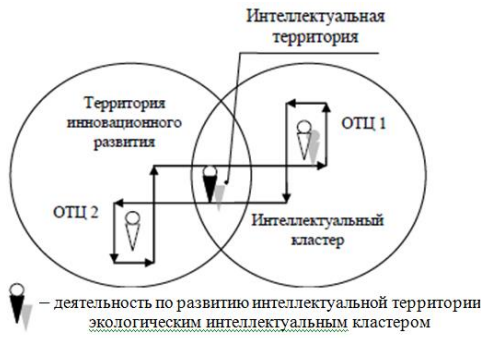


Рис. 7. Инфографическая модель комплексного объединения территории инновационного развития и экологического интеллектуального кластера
Fig. 7. Infographic model of complex integration of the territory of innovative development and ecological intellectual cluster

Противоположность целей функционирования систем, включающаяся в «производстве ресурса – потреблении ресурса», формирует организационно-технологические циклы (ОТЦ 1 и ОТЦ 2 соответственно) преобразующих ресурс каждой из систем, находящихся в комплексном объединении. ОТЦ традиционно представлен фазами «производство» и «потребление», причем потребление (уничтожение) ресурса одной системой производит ресурс для другой системы. В нашем случае это ресурс территории инновационного развития в виде функционального ресурса, потребляемый экологическим интеллектуальным кластером в форме инновационных услуг для потребителя этих услуг в обеспечении его деятельности. В свою очередь, экологический интеллектуальный кластер производит функциональный ресурс, потребляемый территорией инновационного развития в форме традиционных услуг (безопасности, экономичности и комфортности) в обеспечение проживания (жизнедеятельности) потребителя услуг территории.

Для наглядного представления охвата территории инновационного развития научными исследованиями университета используем инфографическую модель комплексного объекта капитализации территории (КОКТ) [6], приведенную на рис. 8.

Модель КОКТ представлена объединением трех моделей: СОПТ – системой организации переустройства территории, КОПТ – комплексным объектом переустройства территории, СИТ – системой инвестиций в переустройство территорий. В состав блока КОПТ включен элемент, ограниченный пунктирной линией и охватывающий все слою модели. Так, в инфографической модели представлен след деятельности университета – образовательного учреждения. Управляющее воздействие этого элемента, обозначенного надписью «университет», предполагает деятельность по выработке научных основ для переустройства территории и реализацию организационного механизма реализации такого переустройства выпускниками учебного заведения, как и является университет.

⁵ В том числе и представителей университета

⁶ Government.ru/rugovclassifier/section/2641/Национальные проекты.

Покажем на разработанной модели, каким образом осуществляется выбор направлений научных исследований университетом. Критериями такого отбора может стать совпадение выбранного направления с направлением развития территорий, осуществляемым государством в процессе реализации федеральных и муниципальных программ развития территории. Сказанное можно отнести и к 12 национальным проектам, к 67 федеральным проектам и к 51 региональному проекту России.



Рис. 8. Инфографическая модель комплексного объекта капитализации территории (КОКТ)
Fig. 8. Infographic model of a complex object of territory capitalization (COCT)

Участие представителей территории⁵ в национальных проектах может быть проиллюстрировано инфографической моделью, приведенной на рис. 9.

Двенадцать национальных проектов включают следующие направления⁶:

1. Образование;
2. Здравоохранение;
3. Демография;
4. Культура;
5. Безопасные и качественные автомобильные дороги;
6. Жильё и городская среда;
7. Экология;
8. Наука;
9. Малое и среднее предпринимательство и поддержка индивидуальной предпринимательской инициативы;
10. Производительность труда и поддержка занятости;
11. Международная кооперация и экспорт;
12. Цифровая экономика.

Проекция «Потребность участия представителей территории⁷ в национальных проектах» может быть проиллюстрирована инфографической моделью, приведенной на рис. 9.

Модель фиксирует интерес к участию стейкхолдеров территории в перечисленных проектах. Знаком «+» в «табличной» форме модели отмечено наличие такого интереса. В случае отсутствия интереса к реализации проекта у

⁷ В том числе и представителей университета, формирующих интеллектуальный кластер.



представителя элемента территории, соответствующая клетка таблицы остается пустой. Слой модели комплексного объекта переустройства территорий (КОПТ) при этом остается незадействованным в национальном проекте.

Напроект												
Элементы КОПТ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. Потребитель продукции территории	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
2. Продукция территории (традиционная и инновационная)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
3. Оборудование зданий, сооружений территории	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
4. Технологическая платформа территории	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
5. Здания и сооружения территории	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
6. Инженерные и транспортные сети и системы коммуникации зданий и сооружений на территории	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		
7. Территория (географическое положение, природные ресурсы, климат, человеческие ресурсы и др.)	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+		

Рис. 9. Инфографическая модель распределения национальных проектов по элементам КОПТ в соответствии с потребностями деятельности в каждом слое модели

Fig. 9. Infographic model of distribution of national projects COPT elements according to the needs of the activities in each layer of the model

Интеграция национальных, федеральных, муниципальных проектов в единую программу комплексного развития территории, охваченной научными исследованиями университета, становится возможным при согласованном взаимодействии институтов системы управления на разных уровнях руководства страны, округа, города. Такое взаимодействие сформирует «...полноценную сквозную систему стратегического планирования, учитывающую межотраслевые и межрегиональные связи». На рис. 10 приведена инфографическая модель, фиксирующая механизм реализации договоренностей всеми участниками комплексного переустройства территории.

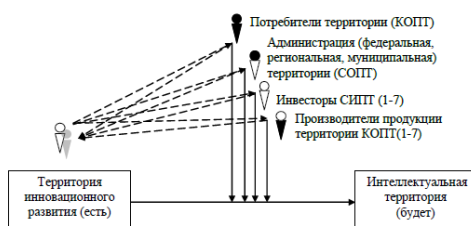


Рис. 10. Инфографическая модель процесса согласования интересов всех значимых стейкхолдеров территории в проекте переустройства этой территории

Каждый из участников имеет свой проект переустройства. При этом в процессе согласования и поддержки

проектов партнеров проекты всех участников включают в себя аспекты, принципиально важные для каждого из участников партнерства⁸.

Анализ проекта создания территориального научно-практического кластера Ступинского муниципального района Московской области

Участие образовательных учреждений в переустройстве территорий рассмотрим на примере проекта создания научно-производственного кластера «Инновационные материалы и технологии» на территории Ступинского муниципального района Московской области, представленного к обсуждению в 2014 году.

Возникновению проекта кластера предшествовало проведение 30 ноября 2012 года круглого стола «Долгосрочный прогноз: вопрос формирования национальной экспертной сети по транспортным и космическим системам». Круглый стол был проведен в рамках IV Международного форума по интеллектуальной собственности «Exhorpriority 2012» ФГБОУ ВПО «МАТИ – Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского» (МАТИ) совместно с НИУ «Высшая школа экономики».

Соглашение о сотрудничестве в области прогнозирования научно-технологического развития транспортных и космических систем позволило МАТИ собрать пул институтов, в который вошли Российский новый университет (филиал в г. Ступино), Московский авиационный институт, собственно МАТИ (филиал в г. Ступино) и др.

Программа развития научно-производственного кластера [10] включила следующую формулировку его миссии: «Научно-технологическое и кадровое обеспечение развития наукоемкой индустрии металлических и композиционных материалов и изделий на их основе, разработка и трансфер передовых технологий для высокотехнологичных отраслей промышленности».

В программе представлено следующее определение: «Научно-производственный кластер «Инновационные материалы и технологии» – это территория высокой инновационной активности, базирующаяся на мощном промышленном потенциале якорных предприятий авиационной и металлургической промышленности, высоком интеллекте⁹ и результативности научно-исследовательских организаций, профессиональных, инновационно-мыслящих кадрах и развитой инновационной инфраструктуре». Цели организации кластера ориентированы на производственную деятельность и характерны для формирования территории инновационного развития. В перечень целей были включены:

- развитие конкурентных преимуществ региона;
- разработка новых материалов и технологий для производства перспективных авиационных газотурбинных двигателей и авиационно-космической техники новых поколений;
- формирование научно-технического задела для выпуска конкурентоспособной, качественной продукции предприятиями-поставщиками;
- стимулирование инноваций и развитие механизмов коммерциализации технологий на основе сотрудничества

⁸ Такое согласование проектов фиксирует включение в окончательную их редакцию фигур участников договоренностей как обозначение следов совместной деятельности.

⁹ Высокий интеллект научно-исследовательских организаций из приведенного ниже списка определен ФГУП «ВНИИАМ» и ФГБОУ ВПО «МАТИ» (с пулом институтов).



между предприятиями, научными и образовательными организациями;

– содействие маркетингу продукции (товаров, услуг), выпускаемой предприятиями – участниками кластера и привлечению прямых инвестиций;

– повышение эффективности системы профессионального образования, на основе прогноза потребностей в квалифицированной рабочей силе.

Предприятиями и организациями кластера реализуются приоритетные государственные задачи по обеспечению конкурентоспособности страны в области инновационных материалов и технологий для авиационной и космической промышленности, подготовки высококвалифицированных кадров, трансферу технологий в другие сферы экономики.

Решение о создании кластера принято 28 августа 2013 года путем подписания меморандума.

Инициаторы создания кластера:

ОАО «Ступинская металлургическая компания».

ОАО «Научно-производственное предприятие «Аэросила».

ОАО «Ступинское машиностроительное производственное предприятие».

Администрация Ступинского муниципального района Московской области.

ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов».

ФГБОУ ВПО «МАТИ» - Российский государственный технологический университет имени К.Э. Циолковского».

В 2014 году с представителями инициаторов кластера была проведена стратегическая сессия в г. Ступино, осуществленная АНО «Объединенная рабочая группа по инновациям» (Ермошкин А.И., Горбунов Д.Б.). Были проведены также смотры инновационных проектов (Голубкова Л.Г. и др.). В качестве проектов для смотра использовались проекты жителей г. Ступино.

При этом инфографическая модель процесса согласования интересов всех значимых стейкхолдеров территории в проекте функционирования этой территории приобрела следующий вид (рис. 11).

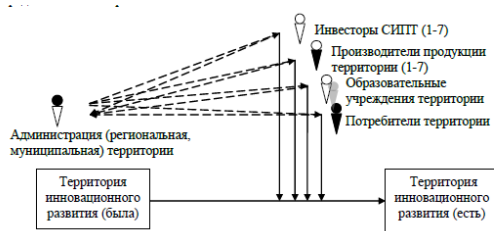


Рис. 11. Инфографическая модель процесса согласования интересов всех значимых стейкхолдеров территории в проекте функционирования этой территории

Fig. 11. Infographic model of the process of coordinating the interests of all significant stakeholders of the territory in the project of functioning of this territory

На позицию основного инициатора изменения территории вышла муниципальная администрация территории, сформировавшее «государственно-частное партнерство в реализации программ инновационного развития высокотехнологических и наукоемких производств, предприятий и

организации участников Кластера, обеспечивающее устойчивое социально-экономическое развитие региона» [10]. Образовательные учреждения территории были переведены в позицию обеспечения кластера кадрами. При этом обеспечение кадрами включило две задачи:

– сотрудничество в образовательной сфере, связанное с подготовкой кадров с высшим и средним профессиональным образованием по согласованным основным образовательным программам, программам профессиональной переподготовки и повышения квалификации специалистов организаций Кластера;

– подготовка высококвалифицированных инженерно-технических и научных кадров, сохранение и развитие потенциала существующих научных и производственных коллективов организаций Кластера, расширение кооперации как внутри страны, так и на мировом рынке.

Попытка сформировать договоренности инициаторов создания кластера с жителями территории (конечные потребители услуг территории инновационного развития), показанная на рис. 11 пунктирными стрелками, была реализована в процессе проведении смотров нескольких десятков экологически безопасных инновационных проектов жителей территории. На рис. 11 показана также последовательность проведения согласования проектов стейкхолдеров территории:

- 1) Администрация и Инвесторы территории.
- 2) Администрация и Инвесторы территории с Производителями продукции территории.
- 3) Администрация, Инвесторы СИПТ (1-7) и Производители продукции территории с образовательными учреждениями территории.
- 4) Администрация, Инвесторы СИПТ (1-7), Производители продукции территории, образовательные учреждения территории с жителями территории

Согласование и последовательность его реализации позволили создать для кластера сервисную инфраструктуру и обеспечить воспроизводство функций территории инновационного развития, представленное на рис. 11 объединением прошлого и настоящего состояния этой территории, показанное объединением блоков «Территория инновационного развития (была)» и «Территория инновационного развития (есть)».

Такая ситуация лишила проект «Инновационные материалы и технологии» возможности преобразования в интеллектуальный кластер, инфографическая модель процесса согласования интересов всех значимых стейкхолдеров территории в котором приведена на рис. 10.

Кроме того, в 2015 году перспективный инициатор создания кластера – ФГБОУ ВПО «МАТИ» вошел в состав Московского авиационного института (технического университета), что исключило возможность переустройства территории инновационного развития в интеллектуальную территорию, поскольку в составе стейкхолдеров проекта кластера не осталось участников, способных к такой инициативе.



ВЫВОДЫ

1) Показано, что у современного университета имеются возможности для формирования экологичного интеллектуального кластера на территории, которую университет снабжает научными разработками и сопровождает кадровым обеспечением.

2) Наличие интеллектуального кластера на территории служит основой развития интеллектуальной территории и может стать основой для повышения уровня интеллектуализации территории.

При формировании стратегии развития интеллектуальной территории должны быть учтены существующие проекты всех значимых стейкхолдеров территории.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Андреев А.Л.** Технонаука. Философия науки / Центр гуманитарных технологий. 2011. Вып. 16. URL: <https://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5993>
2. **Мохов А.И.** Моделирование исследований в естественных науках на основе комплексотехники. Вестник РАЕН. 2015. № 1. С. 25-30.
3. **Мохов А.И.** Отличие в подходе системотехники и комплексотехники к созданию технических систем. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2011. № 1 (7). С. 41-44.
4. **Шестов А.Г., Мохова Л.А., Истомин В.И., Вербин В.Э.** Комплексный метод организации бизнес-инкубаторов при формировании инновационных кластеров. Интернет-журн. Науковедение. 2013. № 4 (17). URL: <https://itl.vvsu.ru/files/97670583-ECC7-4623-8205-3BC809A77C9D.PDF>
5. **Мохова Л.А.** Особенности формирования диссертационного исследования на основе комплексотехники. Долговечность, прочность и механика разрушения строительных материалов и конструкций: материалы XI акад. чтений РААСН – Междунар. науч.-техн. конф. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. 2020. С. 139-150.
6. **Захарова В.И., Мохов А.И., Мохова Л.А., Светлаков В.И.** Методология социологического экспертного исследования. Государственное управление и проектный менеджмент: современные подходы и технологии: по материалам Всероссийских (национальных) научно-практических конференций (17.05.2018 и 23.05.2019). М.: МГУУ Правительства Москвы. 2020. С. 98-109.
7. **Чулков В.О.** Инфография – метод и средство формирования и исследования функциональных систем. Вестник Межд. акад. наук. Рус. секция. 2008. Вып. 1. С. 46-51.
8. **Минниханов Р.Р.** Анализ и перспективы развития инновационных территорий в национальной инновационной системе России. Муниципалитет: экономика и управление. 2012. Вып. 1(2). С. 19-22
9. **Мохов А.И.** Комплексотехника в формировании интеллектуальных кластеров. Интернет-журн. Науковедение. 2013. № 6 (19). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21405245>
10. Программа развития научно-производственного кластера «Инновационные материалы и технологии» на

территории Ступинского района Московской области. Ступино. 2013. 118 с.

Поступила в редакцию 16.06.2021

Принята к опубликованию 21.06.2021

REFERENCES

1. **Andreev A.L.** Technonauka. Philosophy of science / Center for Humanitarian Technologies. 2011. Iss. 16. URL: <https://gtmarket.ru/laboratory/expertize/5993> (in Russian).
2. **Mokhov A.I.** Modeling of research in natural sciences on the basis of complex engineering. Bulletin of the Russian Academy of Sciences. 2015. N 1. P. 25-30 (in Russian).
3. **Mokhov A.I.** Difference in the approach of system engineering and complex engineering to the creation of technical systems. Electrotechnical and information complexes and systems. 2011. N 1 (7). P. 41-44 (in Russian).
4. **Shestov A.G., Mokhova L.A., Istomin V.I., Verbin V.E.** Complex method of organizing business incubators in the formation of innovative clusters. Internet Journal. Science studies. 2013. N 4(17). URL: <https://itl.vvsu.ru/files/97670583-ECC7-4623-8205-3BC809A77C9D.PDF> (in Russian).
5. **Mokhova L.A.** Features of the formation of a dissertation research based on complex engineering. Durability, strength and mechanics of destruction of building materials and structures: materials of the XI Acad. readings of the RAASN – International Scientific-Technical University. conf. Saransk: Mordovia Publishing House. un-ta. 2020. P. 139-150 (in Russian).
6. **Zakharova V.I., Mokhov A.I., Mokhova L.A., Svetlakov V.I.** Methodology of sociological expert research. State Management and Project Management: Modern Approaches and Technologies: based on the materials of the All-Russian (National) scientific and practical conferences (17.05.2018 and 23.05.2019). Moscow: Moscow State University of Management of the Government of Moscow. 2020. P. 98-109 (in Russian).
7. **Chulkov V.O.** Infografiya - method and means of formation and research of functional systems. Vestnik Mezhdunarod. akad. nauk. Rus. section. 2008. V. 1. P. 46-51 (in Russian).
8. **Minnikhanov R.R.** Analysis and prospects for the development of innovative territories in the national innovation system of Russia. W-1 Municipality: economy and management. 2012. N 1(2) P. 19-22 (in Russian).
9. **Mokhov A.I.** Complex Engineering in the formation of intellectual clusters. Internet Journal. Science studies. 2013. N 6 (19). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21405245> (in Russian).
10. Program for the development of the research and production cluster «Innovative Materials and Technologies» in the Stupinsky district of the Moscow region. Stupino. 2013. 118 p. (in Russian).

Received 16.06.2021

Accepted 21.06.2021



ABSTRACTS

S.V. FEDOSOV, M.O. BAKANOV

METHOD OF «MICROPROCESSES» IN MODELING THE PROCESSES OF THERMAL CONDUCTIVITY AND DIFFUSION IN BODIES OF CANONICAL SHAPE. GENERALIZED BOUNDARY CONDITIONS OF THE THIRD KIND

Key words: heat treatment, heat and mass transfer, plate, cylinder, sphere, "zonal" method, "micro-processes" method, low Fourier numbers.

Most of the materials undergoing processing in the production processes of chemical technology, from the point of view of the principles of geometry, can be reduced to traditional bodies of canonical shape: a plate, a cylinder, a ball. In the processes of heat treatment of solid materials (heat-moisture treatment, drying, firing), the transfer potentials (temperature, mass content) change significantly over the time of the process. To solve boundary value problems of heat and mass (moisture) conductivity in such cases, the "zonal" method and the "microprocess" method were previously proposed. The possibilities of the "microprocesses" method applied to modeling boundary value problems of heat and mass transfer for bodies of canonical shape under boundary conditions of the first kind (Dirichlet conditions) were shown in the previous works of the authors. This paper presents an illustration of the application of the "microprocess" method for solving boundary value problems of heat and moisture conductivity under more general boundary conditions, conditions of the third kind (Riemann-Newton). The great universality of these conditions lies in the fact that, depending on the values of the Biot number (Bi), they transform into a condition of the first kind (Bi tends to zero) or the second (Bi tends to infinity). It is shown that the search for solutions in the region of small values of Fourier numbers ($Fo < 0.1$) is promising for modeling the processes of heat and mass transfer in systems with a solid phase based on the method of "micro-processes". Solutions of the corresponding boundary value problems are given and examples of the results of their numerical implementation are shown

S.P. RUDOBASHTA

MASS CONDUCTIVITY DURING DRYING OF BUILDING MATERIALS

Key words: drying, classes of dried materials, mass conductivity, kinetic calculation.

The paper considers classes of nonporous, capillary-porous and colloidal capillary-porous materials as drying objects used in construction. The specific aspects of internal mass transfer in them are analyzed. It is noted that the main coefficient of internal mass transfer is the coefficient of mass conductivity (moisture diffusion coefficient). It is noted that during drying, it significantly depends not only on the temperature, but also on the moisture content of the material. The drying dynamics of materials using this coefficient should be calculated by taking into account these dependencies. The lack of data on the mass conductivity coefficient makes it difficult to apply mathematical methods for calculating the drying kinetics based on solutions of the differential equations of mass and heat conductivity. It is indicated that the development of a zonal method for determining the concentration dependence of this coefficient significantly facilitated the accumulation of data on it. The paper gives examples of experimental data on the mass conductivity coeffi-



cient for drying materials of different classes. It also discusses the issues of kinetic calculation of the drying process of materials on the basis of theoretical mathematical models—analytical and numerical, involving the use of data on the thermophysical characteristics of materials. It is indicated that mathematical methods have now come to the fore in connection with the general development of the drying theory, the accumulation of data on the mass conductivity coefficient, the ubiquity of personal computers and the development of efficient computing systems. To calculate the drying kinetics of materials with the correct geometric shape, the zonal method is recommended, based on solutions of linear differential equations of mass and heat conductivity, applicable in narrow ranges of changes in the moisture content of the material—as easy to use and providing sufficient accuracy for engineering purposes.

V.V. BELOV, T.R. BARKAYA
PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES
OF NON-AUTOCLAVE ASH POROUS CONCRETE

Key words: non-autoclave gas concrete, fuel ash as filler, low-energy technology, strength and deformation characteristics.

The work describes the principles of low-energy technology of non-autoclave porous concrete (NAPC) based on fuel ash. After closing with water and mixing in a conventional mixer, the feed mixture is poured into molds or formwork, where it swells and then solidifies under normal conditions or with little heat treatment.

The use of NAPC with the same average density as conventional light concretes on roasting aggregates for reinforced bearing structures can be justified by the close values of the total porous steel and the associated elastic and deformative properties, as well as similar working conditions of reinforcement in these products. At the same time, compared to gas-ozone concrete, NAPC is advantageously characterized by greater stability of properties during manufacture, lower consumption of ha-z-forming additives, and compared to conventional light concrete — the absence of expensive large porous aggregates.

Strength and deformation characteristics of NAPC are determined both at short-term and long-term active loads, which is the basis for further research on the use of this special material in bearing and enclosing structures.

A.S. BALYKOV, T.A. NIZINA, V.V. VOLODIN, D.I. KOROVKIN
SELF-COMPACTING FINE-GRAINED CONCRETES
BASED ON HIGHLY FILLED CEMENT BINDERS

Key words: fine-grained concrete, highly filled self-compacting mixture, carbonate filler, active mineral additive, fine sand, physical and mechanical properties

The paper discusses the development of modified fine-grained concretes of C20 to C90 compressive strength classes from self-compacting mixtures containing microcalcite, polycarboxylate superplasticizer, and fine quartz sand with a fineness modulus of 1.4, mineral additives of microsilica, metakaolin and Penetron Ad-mix (if necessary). The work provides the results of the study of physical and mechanical properties of the developed self-compacting fine-grained concretes.



S.V. FEDOSOV, V.N. FEDOSEEV, I.A. ZAYTSEVA, V.A. VORONOV
THE HIERARCHY ANALYSIS METHOD IN BACKING EXPERT JUDGMENTS
OF CRITERIA FOR INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY
OF AIR HEAT PUMP

Key words: *hierarchy analysis method, energy efficiency, air source heat pump.*

The article substantiates the expediency of using the hierarchy analysis method as a mathematical tool for forecasting a systemic and necessary approach for analyzing complex problems using managerial decision-making. In this study, the hierarchy analysis method is implemented based on the expert assessment method, in which the respondents are experts – specialists in a particular area of expertise. The main purpose of the expert assessment method is to identify complex aspects of the problem under study, to improve the quality of information and conclusions. During the study, a group of independent experts was formed, through an individual survey, criteria for improving the energy efficiency of an air heat pump were determined. The expert substantiation of the thermophysical properties of the coolant, the working fluid, the environment made it possible to conduct an objective mathematically substantiated comparison and calculation of the priorities of the variants of the analyzed models of the air heat pump.

L.A. OPARINA
APPLICATION OF INFORMATION MODELLING TECHNOLOGIES
FOR CONSTRUCTION TIME MANAGEMENT

Key words: *construction, information modelling technology, Building Information Model, construction time, time schedule, arrow diagram.*

This article concerns with construction time management through the use of information modelling techniques. The author shows the factors of managing the construction time. It is very important to manage construction time at the earliest stages of the life cycle of construction projects. Participants in investment and construction projects should have the goal of managing the construction time. The article describes the software to manage of construction time. The author shows a diagram of the organization of design and construction processes using information modeling technologies. The innovation of the author's approach is in the systematic approach to the management of construction time, which involves not only the use of information modelling technologies, but also the construction project management changing, namely: the customer's involvement into time scheduling processes, implementation of project management, information modelling.

V.M. DUDIN, A.E. OKUTIN, N.S. SMEKALOV
IMPROVING THE SAFETY OF ASPHALT PAVEMENT

Key words: *asphalt concrete coating, winter maintenance, safety, anti-icing additive in asphalt concrete, basic properties of asphalt concrete.*

In winter, there is an intense icing of the surface of highways, which leads to a deterioration in road safety. To ensure safe movement, winter maintenance measures are used – treatment of the pavement surfaces with chemical reagents, which can cause damage to the environment. To reduce the negative impact of reagents and ensure road safety, it is promising to include anti-ice additives in the composition of asphalt concrete, which leads to the melting of ice on the surface or to reduce the adhesion of ice to asphalt concrete, which can be removed by snowblower brushes. The proposed work deals with the influence of technical



salt on the basic properties of asphalt concrete, with partial or complete replacement of mineral powder in the crushed stone-mastic asphalt concrete mixture.

A.I. MOKHOV, L.A. MOKHOVA
MODELING THE RESEARCH DIRECTION IN THE CONSTRUCTION
OF A MODERN UNIVERSITY: PART 1

Key words: *alternative research, innovation, innovation territories, environmental smart clusters, scientific research, complex engineering, technoscience.*

The article shows how a modern university focuses its scientific and educational activities on the development of the territory, the jobs of which this university provides with personnel. The approach to the formation of the pool of scientific research of a modern university is considered. To structure promising scientific research, the development of the territory served by the university's activities is simulated using complex engineering. An infographic was used to improve the visibility of the functioning of the obtained models. The development of territories is determined primarily by the steady functioning of its infrastructure. The applied approach allows to form models of interaction of stakeholders interested in intellectual development of the territory. The model of creating an intelligent cluster is considered. The article presents an example of the formation of the territory of innovative development with the scientific and technological cluster of the Stupinsky municipal district of the Moscow region. The possibility of developing an intellectual territory using an environmental smart clusters is concluded



ИНФОРМАЦИЯ ДЛЯ АВТОРОВ

Редакция строго придерживается норм и правил международной публикационной этики.

Правовую основу обеспечения публикационной этики составляют международные стандарты: положения II Всемирной конференции по вопросам соблюдения добросовестности научных исследований, положения Комитета по этике научных публикаций (The Committee on Publication Ethics - COPE) и нормы раздела «Авторское право» Гражданского кодекса РФ.

Представление статьи в журнал подразумевает следующее:

- работа не была опубликована ранее в другом журнале;
- не находится на рассмотрении в другом журнале;
- все соавторы согласны с публикацией статьи;
- получено согласие (в явной или неявной форме) организации, в которой было проведено исследование.

При представлении рукописи в журнал авторы должны убедиться, что все цитирования оформлены корректно, указаны заимствованные источники в подписях к рисункам и надписям таблиц, Если таковые не приведены, предполагается, что рисунки и таблицы представляют собой плод авторской деятельности. Редакция осуществляет проверку статей на антиплагиат.

Авторские права

Авторы, направляющие свои работы в журнал, соглашаются со следующим:

1. Авторы сохраняют за собой авторские права на работу и предоставляют журналу право первой публикации работы.
2. Авторы сохраняют право заключать отдельные контрактные договорённости, касающиеся не-эксклюзивного распространения версии работы в опубликованном здесь виде (например, размещение ее в институтском хранилище, публикацию в книге), со ссылкой на ее оригинальную публикацию в этом журнале.

Приватность

Имена и адреса электронной почты, введенные на сайте этого журнала, будут использованы исключительно для целей, обозначенных журналом; доступ к ним иных лиц и организаций для других целей не предоставляется.

ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

В журнале «Умные композиты в строительстве» / «Smart Composite in Construction» печатаются работы преподавателей и сотрудников высших учебных заведений РФ, РАН, РААСН, других исследовательских подразделений, работающих в сфере промышленного и гражданского строительства и архитектуры, в том числе в странах стран СНГ и за рубежом.



Рубрики журнала

- 05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения
- 05.23.05 Строительные материалы и изделия
- 05.23.11 Проектирование и строительство дорог, метрополитенов
- 05.23.19 Экологическая безопасность строительства и городского хозяйства
- 05.23.21 Архитектура зданий и сооружений. Творческие концепции архитектурной деятельности

Статьи, направляемые в журнал, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. Работа должна соответствовать профилю журнала, обладать актуальностью, новизной, иметь прикладное значение (и/или теоретическое обоснование). Вопрос об опубликовании статьи, ее отклонении решает редакционная коллегия журнала, и ее решение является окончательным.

2. Статьи должны представлять сжатое, конкретное изложение полученных автором результатов, без повторения одних и тех же данных в тексте, рисунках и таблицах.

3. Все представленные статьи должны быть подготовлены 12 кеглем, шрифт Times New Roman, интервал 1.1. Поля: верхнее и нижнее – 3 см, левое и правое – 2.5 см. Абзацный отступ – 0,75 см. Объем статьи – 6-15 страниц, включая список литературы, таблицы (не более 3, ширина 8 см) и рисунки (не более 5, для обзорной статьи – не более 8, ширина 8 см), в том числе помеченные буквами а, б и т.д. Рисунки оформляются без рамок и размещаются, как и подписи к ним, таблицы и заголовки к ним, примечания, строго по тексту статьи. В раздел «Обзорные статьи» принимаются материалы объемом от 25 до 30 страниц.

4. При оформлении статьи рекомендуется избегать употребления любых сокращений, кроме общепринятых. При первом упоминании сокращенного термина обязательно приводится его расшифровка в полном виде. Рукописные вставки не допускаются. Кавычки оформляются елочкой. Текст набирается без нумерации страниц.

Структура статьи

На первой странице рукописи слева проставляется индекс по универсальной десятичной классификации (УДК, шрифт 10 пт, прямой, Verdana, без отступа). После УДК пропускается строка, дается наименование работы по центру (шрифт 12 пт, прямой, полужирный, все буквы прописные, шрифт Verdana). Ниже по центру – инициалы, фамилия авторов (шрифт 11 пт, курсив, Verdana, полужирный). После фамилий авторов указываются их место работы: подразделение и название организации, почтовый адрес (шрифт 10 пт, курсив, Verdana). Отдельной строкой указывается электронный адрес авторов (курсив). Далее через интервал (1 строка) размещается аннотация (150-200 слов, выравнивание по ширине, размер шрифта 10 пт, курсив, отступ слева 0.75 см, шрифт Times New Roman). После аннотации и интервала (1 строка) полужирным шрифтом курсивом набираются Ключевые слова и приводят шрифтом Times New Roman размером 10 пт 5-8 словосочетаний (не курсив), без точки в конце.



Затем следует текст статьи, в котором через интервал выделяются разделы: Введение, Экспериментальная часть, Результаты и их обсуждение, Выводы (в обзорной статье выделяются Введение, названия подразделов курсивом, Выводы). Статья заканчивается разделом Литература. Оптимальное количество цитированных источников от 15 до 20, желательно включить не менее 3 работ, входящих в базы WoS/Scopus. В обзорных работах принимаются ссылки на 50-80 источников. Под списком литературных источников через интервал слева курсивом приводятся слова: Поступила в редакцию, на следующей строке: Принята к опубликованию.

5. В адрес редакции, кроме электронного варианта, направляют 1 экземпляр статьи в распечатанном виде с подписями всех авторов после слов Принята к опубликованию.

Формат

Редакция принимает тексты, сохраненные в программе Microsoft Word в форматах .doc или .docx. Материалы, не соответствующие вышеуказанным требованиям, не рассматриваются.

Оформление литературных ссылок

Все русскоязычные литературные источники должны быть указаны на английском языке. Издания, которые не переводятся, необходимо указать транслитерацией в соответствии с общепринятыми международными правилами, в конце каждого такого источника должна стоять пометка (in Russian) (см. <http://www.cas.org/expertise/cascontent/caplus/corejournals.html>).

Для журнальной статьи должны быть указаны фамилии и инициалы всех авторов, название статьи, сокращенное название журнала, год, номер тома, номер или выпуск, диапазон страниц и DOI (при наличии), например, DOI: 10.6060/2012.01.01.

Ссылки на статьи из иностранных источников:

1 **Фамилия И.О. (англ.)**, 2 **Фамилия И.О. (англ.)** Название статьи (англ.). Название журнала (англ.). Год. Том (V). Номер (N). Диапазон страниц (например, P. 465-472). DOI (например, DOI: 10.13655/1.6.1234567).

Ссылки на статьи на русском языке [перевод на английский]:

1 **Фамилия И.О.**, 2 **Фамилия И.О.** Название статьи. Название журнала. Год. Том. Номер. Диапазон страниц. [1 *Familia I.O.*, 2 *Familia I.O.* Перевод названия статьи. Официальное название на английском языке/Транслитерация названия журнала. Год. Том (V). Номер (N). Диапазон страниц, например: P. 17-23 (in Russian)].

Ссылки на монографии на иностранном языке:

1 **Фамилия И.О. (англ.)**, 2 **Фамилия И.О. (англ.)** Название книги (англ.). Номер переиздания. Город (англ.): Издательство (англ.). Год. Общее число страниц (например: 372 p.)

Ссылки на монографии на русском языке [перевод на английский]:



1 Фамилия И.О., 2 Фамилия И.О. Название монографии. Город: Издательство. Год. Общее число страниц (например: 456 с.) [1 Familia I.O., 2 Familia I.O. Перевод названия монографии на англ. язык. Gorod: Izdatelstvo. God. 456 p. (in Russian)].

Ссылки на интернет-ресурсы:

Название материала на сайте [сайт]. Название сайта; 2016 [обновлено 19 октября 2016; процитировано 30 октября 2016]. Доступно: <http://www.example.ru>

Примеры оформления ссылок на литературные источники

Литература

1. **Prokof'ev V.Yu., Razgovorov P.B., Gordina N.E.** The adsorption of undesirable impurities from sunflower oil the granulated sorbents based on caolin clay. *Int. J. Food Eng.* 2014. V. 10. N 4. P. 713-720.

2. **Разговоров П.Б., Ситанов С.В., Козлов В.А.** Изучение взаимодействия некоторых затравочных материалов и сложноэфирной составляющей воскоподобных веществ. *Изв. вузов. Химия и хим. технология.* 2002. Т. 45. Вып. 1. С. 34-37.

3. **Разговоров П.Б., Ситанов С.В.** Экспресс-анализ восков в растительных маслах. *Масложир. пром-сть.* 2009. № 3. С. 21-23.

4. **Разговоров П.Б., Горшков В.К.** Технологическое оборудование отрасли: расчеты в масложировых производствах: учеб. пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т. 2009. 48 с.

REFERENCES

1. **Prokof'ev V.Yu., Razgovorov P.B., Gordina N.E.** The adsorption of undesirable impurities from sunflower oil the granulated sorbents based on caolin clay. *Int. J. Food Eng.* 2014. V. 10. N 4. P. 713-720.

2. **Razgovorov P. B., Sitanov S.V., Kozlov V.A.** Investigation of interaction of some priming (fuse) materials and ester component of wax-like compounds. *Izv. Vyssh. Uchebn. Zaved. Khim. Khim. Tekhnol.* 2002. V. 45. N 1. P. 34-37 (in Russian).

3. **Razgovorov P.B., Sitanov S.V.** Express analysis of waxes in vegetable oils. *Maslozhir. promyshl.* 2009. N 3. P. 21-23 (in Russian).

4. **Razgovorov P.B., Gorshkov V.K.** Processing equipment of industry: calculations in oil and fat productions: tutorial. *Ivanovo: ISUCT.* 2009. 48 p. (in Russian).

**УМНЫЕ КОМПОЗИТЫ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ**
SMART COMPOSITE IN CONSTRUCTION



ТОМ 2, ВЫПУСК 2, 2021 | VOL. 2, ISSUE 2

