



ISSN 0044-4472

7'2021

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

научно-технический и производственный журнал

[www.rifsm.ru](http://www.rifsm.ru)

[www.journal-hc.ru](http://www.journal-hc.ru)

издается с 1958 г.



Тема номера

*Безопасное строительство*

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ СУХИХ  
СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ

**24-26 августа  
2021**

**BALTIMIX**

ЕКАТЕРИНБУРГ 2021

**21** год  
**РАСЦВЕТАЕМ ВМЕСТЕ**

Организаторы



При поддержке



При участии



**baltimix.ru**

Учредитель журнала: АО «ЦНИИЭП жилища»  
Адрес: Россия, 127434, Москва,  
Дмитровское ш., д. 9, стр. 3

Издатель: ООО РИФ «СТРОЙМАТЕРИАЛЫ»  
Адрес: 125319, г. Москва, ул. Черняховского,  
д. 9, корп. 1, кв. 1

Входит в Перечень ВАК,  
государственный проект РИНЦ  
и RSCI на платформе Web of Science  
Журнал зарегистрирован Министерством РФ  
по делам печати, телерадиовещания  
и средств массовой информации  
№ ФС77-64906

#### Главный редактор

ЮМАШЕВА Е.И.,  
инженер-химик-технолог,  
почетный строитель России

#### Редакционный совет:

НИКОЛАЕВ С.В.,  
председатель, д-р техн. наук,  
АО «ЦНИИЭП жилища» (Москва)

АЗАРОВ В.Н.,  
д-р техн. наук (Волгоград)

АКИМОВ П.А.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Москва)

АЛЕКСЕЕВ Ю.В.,  
д-р архитектуры, профессор (Москва)

ВАВРЕНЮК С.В.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Владивосток)

ВОЛКОВ А.А.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Москва)

ГАГАРИН В.Г.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Москва)

ЖУСУПБЕКОВ А.Ж.,  
д-р техн. наук (Астана, Казахстан)

ЗВЕЗДОВ А.И.,  
д-р техн. наук, президент Ассоциации  
«Железобетон» (Москва)

ИЛЬЧИЧЕВ В.А.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Москва)

КОЛЧУНОВ В.И.,  
д-р техн. наук, академик РААСН  
(Курск)

МАНГУШЕВ Р.А.,  
д-р техн. наук, член-корреспондент  
РААСН (Санкт-Петербург)

ОРЕЛЬСКАЯ О.В.,  
д-р архитектуры, член-корреспондент  
РААСН, профессор (Нижний Новгород)

СУББОТИН О.С.,  
д-р архитектуры (Краснодар)

ТЕР-МАРТИРОСЯН А.З.,  
д-р техн. наук (Москва)

ТИХОНОВ И.Н.,  
д-р техн. наук (Москва)

#### Авторы

опубликованных материалов несут  
ответственность за достоверность  
приведенных сведений, точность данных  
по цитируемой литературе  
и за использование в статьях данных,  
не подлежащих открытой публикации.

#### Редакция

может опубликовать статьи  
в порядке обсуждения,  
не разделяя точку зрения автора.

#### Перепечатка

и воспроизведение статей, рекламных  
и иллюстративных материалов возможны  
лишь с письменного разрешения главного  
редактора.

Редакция не несет ответственности  
за содержание рекламы и объявлений.

# ЖИЛИЩНОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

Издается с 1958 г.

7'2021

## Энергоэффективное строительство

С.Г. ШЕЙНА, Н.П. УМНЯКОВА, Л.В. ГИРЯ, М.А. РОЖИНА  
Лучшие европейские практики в области энергосбережения  
при проектировании медицинских учреждений. . . . . 3

А.М. МОИСЕЕНКО, В.К. САВИН  
Технико-экономическая целесообразность мероприятий  
в случае отключения источников энергообеспечения в хранилищах . . . . . 8

И.А. ШМАРОВ, В.А. КОЗЛОВ, Л.В. БРАЖНИКОВА  
Системы освещения городских подземных пространств  
и их влияние на показатели комфортности освещения. . . . . 13

## Тепловая защита зданий

Е.В. ЛЕВИН, А.Ю. ОКУНЕВ  
Учет нестационарности теплопереноса при теплотехнических обследованиях  
ограждающих конструкций. . . . . 19

## Подземное строительство

И.В. БЕССОНОВ, А.Д. ЖУКОВ, А.Н. ШИЛОВ, И.С. ГОВРЯКОВ  
Системы «теплых» фундаментов . . . . . 30

## Расчет конструкций

В.И. РИМШИН, П.С. ТРУНТОВ, Е.С. КЕЦКО  
Научно-техническая экспертиза конструкций для переоборудования открытых террас  
в помещениях многофункционального комплекса. . . . . 37

## Экологическое строительство

Г.А. САМБУРСКИЙ, В.И. БАЖЕНОВ, Д.Б. ФРОГ  
Принципы оценки стоимости жизненного цикла технологий водоподготовки  
при реализации ФП «Чистая вода» . . . . . 42

А.В. КАЛАЙДО, В.И. РИМШИН, М.Н. СЕМЕНОВА  
Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания . . . . . 48

Founder of the journal: AO «TSNIEP zhilishcha»  
Address: 9/3 Dmitrovskoye Highway, 127434,  
Moscow, Russian Federation

Publisher: «STROYMATERIALY»  
Advertising-Publishing Firm, OOO  
Address: 1, 9 Bldg. 1, Chernyakhovskogo Street,  
Moscow, 125319, Russian Federation

The journal is registered by the RF Ministry  
of Press, Broadcasting and Mass  
Communications, № FS77-64906

#### Editor-in-chief

YUMASHEVA E.,  
chemical process engineer,  
Honorary Builder of Russia

#### Editorial Board:

NIKOLAEV S.,  
Chairman,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
AO «TSNIEP zhilishcha» (Moscow)

ALEKSEEV Yu.,  
Doctor of Architecture, Professor  
(Moscow)

AZAROV V.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
(Volgograd)

AKIMOV P.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS (Moscow)

VAVRENJUK S.,  
Doctor of sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Vladivostok)

VOLKOV A.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Moscow)

GAGARIN V.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Moscow)

ZHUSUPBEKOV A.,  
Doctor of Sciences (Engineering)  
(Astana, Kazakhstan)

ZVEZDOV A.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
President, Association «Zhelezobeton»  
(Moscow)

IL'ICHEV V.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS, Research  
Supervisor of the Academic Scientific  
and Creative Center of RAACS (Moscow)

KOLCHUNOV V.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Academician of RAACS (Kursk)

MANGUSHEV R.,  
Doctor of Sciences (Engineering),  
Corresponding member of RAACS  
(Saint-Petersburg)

ORELSKAYA O.,  
Doctor of Architecture, Corresponding  
Member of RAACS, Professor (Nizhny  
Novgorod)

SUBBOTIN O.,  
Doctor of Architecture (Krasnodar)

TER-MARTIROSIAN A.,  
Doctor of sciences (Engineering)  
(Moscow)

TIKHONOV I.,  
Doctor of Sciences (Engineering)  
(Moscow)

#### The authors

of published materials are responsible for the  
accuracy of the submitted information, the  
accuracy of the data from the cited literature  
and for using in articles data which are not  
open to the public.

#### The Editorial Staff

can publish the articles as a matter for discus-  
sion, not sharing the point of view of the author.

#### Reprinting

and reproduction of articles, promotional and  
illustrative materials are possible only with the  
written permission of the editor-in-chief.

The Editorial Staff is not responsible for  
the content of advertisements and  
announcements.

# ZHILISHCHNOE STROITEL'STVO

Published since 1958

7'2021

## Energy efficient construction

S.G. SHEINA, N.P. UMNIAKOVA, L.V. GIRYA, M.A. ROZHINA

Best European Practices in the Field of Energy Saving when Designing Medical Institutions . . . . 3

A.V. MOISEENKO, V.K. SAVIN

Technical and Economic Feasibility of Measures in Case of Disconnection  
of Energy Supply Sources in Storage Facilities. . . . . 8

I.A. SHMAROV, V.A. KOZLOV, L.A. BRAZHNIKOVA

Lighting Systems for Urban Underground Spaces and Their Impact  
on the Indicators of Lighting Comfort . . . . . 13

## Heat protection of buildings

E.V. LEVIN, A.Y. OKUNEV

Taking Into Account the Non-Stationarity of Heat Transfer During Thermal Engineering  
Inspections of Enclosing Structures . . . . . 19

## Underground construction

I.V. BESSONOV, A.D. ZHUKOV, A.N. SHILOV, I.S. GOVRYAKOV

Systems of "Warm" Foundations . . . . . 30

## Structural calculations

V.I. RIMSHIN, P.S. TRUNTOV, E.S. KETSKO

Scientific and Technical Structures Expertise for the Open Terraces Re-Equipment  
in the Multifunctional Complex . . . . . 37

## Ecological construction

G.A. SAMBURSKY, V.I. BAZHENOV, D.B. FROG

Principles of Estimating the Cost of the Life Cycle of Water Treatment Technologies  
when Implementing the "Clean Water" Federal Project . . . . . 42

A.V. KALAYDO, V.I. RIMSHIN, M.N. SEMENOVA

Assessment of the Contributions of Diffusive and Convective Radon Entry  
Into the Buildings . . . . . 48

Editorial address: 9/3 Dmitrovskoye Hwy, 127434, Moscow, Russian Federation

Tel.: (499) 976-22-08, 976-20-36

Email: mail@rifsm.ru http://www.journal-hc.ru http://www.rifsm.ru

УДК 697.341

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-3-7>

С.Г. ШЕИНА<sup>1</sup>, д-р техн. наук (rgsu-gsh@mail.ru); Н.П. УМНЯКОВА<sup>2</sup>, д-р техн. наук;  
Л.В. ГИРЯ<sup>1</sup>, канд. техн. наук, М.А. РОЖИНА<sup>1</sup>, студентка

<sup>1</sup> Донской государственный технический университет (344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Лучшие европейские практики в области энергосбережения при проектировании медицинских учреждений

*Ключевая экологическая цель устойчивого развития – это стабильность экологических и физических систем. Здания медицинских учреждений имеют более высокие показатели расхода тепловой энергии, чем здания любого другого типа. В связи с ростом затрат на здравоохранение каждая больница должна уделять приоритетное внимание экономии средств, в том числе тех, которые обеспечивают экологическую устойчивость. Разработка энергоэффективных зеленых строительных проектов, от строительства частных домов, офисных зданий до крупных социальных объектов, таких как больничные комплексы, в современных условиях неизбежна. На примере внедрения лучших европейских практик при проектировании и строительстве было установлено, что проводимые меры по повышению энергоэффективности зданий, безусловно, положительны. С ростом объема исследований, а также ресурсов моделирования все больше стратегий проектирования ориентировано на достижение принципов устойчивости при проектировании и строительстве медицинских учреждений.*

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергия, медицинские учреждения, проектирование, здравоохранение, энергоэффективность, устойчивое развитие.

**Для цитирования:** Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Гиря Л.В., Рожина М.А. Лучшие европейские практики в области энергосбережения при проектировании медицинских учреждений // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 3–7. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-3-7>

S.G. SHEINA<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (rgsu-gsh@mail.ru); N.P. UMNIAKOVA<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering),  
L.V. GIRYA<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering), M.A. ROZHINA<sup>1</sup>, Student

<sup>1</sup> Don State Technical University (1, Gagarin Square, Rostov-on-Don, 344000, Russian Federation)

<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Best European Practices in the Field of Energy Saving when Designing Medical Institutions

The key environmental goal of sustainable development is the stability of ecological and physical systems. Health care buildings have higher thermal energy consumption rates than any other type of building. With health care costs rising, every hospital should prioritize cost savings, including those that defend environmental sustainability. The development of energy-efficient green construction projects from the construction of private homes, office buildings to large social facilities such as hospital complexes in modern conditions is inevitable. On the example of the implementation of the best European practices when designing and constructing, it was found that the measures taken to improve the energy efficiency of buildings are certainly positive. With the growing volume of research, as well as modeling resources, there are more and more design strategies that focus on achieving sustainability principles when designing and constructing medical facilities.

**Keywords:** energy saving, energy, healthcare facilities, design, healthcare, energy efficiency, sustainable development.

**For citation:** Sheina S.G., Umnyakova N.P., Giry L.V., Rozhina M.A. Best European practices in the field of energy saving when designing medical institutions. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 3–7. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-3-7>

Важное место в политической повестке в Европе и за ее пределами занимают вопросы энергосбережения и защиты окружающей среды. В сентябре 2015 г. государства – члены Организации Объединенных Наций подписали Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 г., которая содержит в себе 17 целей, направленных на оказа-

ние помощи как человечеству, так и планете. Третья цель посвящена сфере здравоохранения: обеспечить всеобщий охват услугами здравоохранения, включая защиту от финансовых рисков и доступ к высококачественным базовым медицинским услугам, лекарствам; значительно увеличить финансирование здравоохранения, а также набор, развитие,

Таблица 1  
Table 1Генерационные мощности ЕС  
EU generation capacity

Тип источника	1980	1990	1995	1996	2000	2005	2015
Ядерный	40 106	114 837	119 581	120 710	122 427	121 062	119 232
<i>Итого</i>	40 106	114 837	119 581	120 710	122 427	121 062	119 232
Ископаемые виды топлива:							
уголь	101 847	117 090	115 132	114 638	110 928	103 032	107 552
бурый уголь	17 743	18 535	30 226	27 442	28 647	28 993	30 332
мазут	76 309	59 507	53 339	51 970	36 023	33 870	27 785
природный газ	33 529	43 302	63 850	73 991	105 230	116 890	134 574
попутный газ	3 500	2 314	2 695	2 756	5 178	4 455	4 378
<i>Итого</i>	232 928	240 747	265 242	270 797	286 006	287 240	304 620
Гидроресурсы:							
гравитационный (естественный сток)	67 846	76 902	80 064	80 387	82 985	84 225	86 755
с предварительным подъемом и смешанный тип	20 284	32 303	34 586	34 597	34 909	36 109	37 290
<i>Итого</i>	88 130	109 205	114 649	114 983	117 893	120 334	124 045
Иные возобновляемые							
Газовые турбины, дизель-генераторы и пр.	12 922	17 297	21 208	21 632	20 824	21 306	24 067
Другие	6 186	7 865	6 579	9 335	12 330	18 547	22 054
<i>Итого</i>	20 938	29 764	34 521	27 782	47 112	60 414	71 868
<i>Всего</i>	382 102	494 553	533 993	544 272	573 438	589 050	619 765

обучение и удержание медицинских работников в развивающихся странах. Седьмая цель – к 2030 г. удвоить глобальные темпы повышения энергоэффективности; укрепить международное сотрудничество для облегчения доступа к исследованиям и технологиям чистой энергии, включая возобновляемые источники энергии (Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года (резолюция 70/1)).

При ближайшем рассмотрении становится очевидным, что внимание к сохранению энергии и продвижению устойчивого здравоохранения – это хороший способ поддержания не только корпоративной социальной ответственности, но и задачи развития в будущем. Энергосбережение и устойчивое здравоохранение являются движущими силами инноваций и экономической эффективности медицинских учреждений.

Сокращение затрат на электроэнергию выгодно как для потребителей, так и для окружающей среды. Наиболее эффективно внедрять мероприятия на начальной стадии проектирования. При реконструкции объектов учитывать современные технологии, в том числе за счет обновления и ремонта определенных участков [1, 2].

В Европе 90% электроэнергии производится специализированными энергетическими компаниями и 10% – неспециализированными [3–5]. В табл. 1 показаны общие производственные мощности в Европе.

Одним из основных типов зданий с большим потенциалом для применения мер по энергосбережению являются больницы. На больницы и медицинские

учреждения приходится непропорционально большое потребление энергии. Они работают круглосуточно и без выходных, и у них есть дополнительные требования к чистому воздуху, качественному кондиционированию, современному высокоточному оборудованию, грамотной утилизации отходов, поэтому они используют больше энергии, чем коммерческое здание аналогичного размера.

Проектирование экологически чистых, энергоэффективных, зеленых строительных проектов привлекает внимание во всех сферах, от строительства частных домов, офисов до крупных зданий, таких как больничные комплексы [6, 7].

В Нидерландах основным подходом к проектированию энергоэффективных зданий является трехуровневая стратегия Trias Energetica. Развитие технических решений и подходов к энергоэффективности трансформировалось в стратегию «Пять шагов», которые представлены на рисунке [8].

Чем больше энергии потребляется в больнице, тем больше в окружающую среду выделяется токсичных отходов, вызывающих ущерб, который может подвергнуть человеческие жизни риску других болезней и смерти.

Переход к созданию экологически безопасных медицинских учреждений в значительной степени сосредоточен на снижении углеродного бремени в больницах при обеспечении безопасности их сотрудников – персонала и пациентов.

Больницы используют больше ресурсов и производят больше отходов, чем большинство других

Таблица 2  
Table 2

Примеры энергоэффективных медицинских учреждений  
Examples of energy-efficient medical facilities

Здание	Организация-разработчик	Внедренные технологии и их преимущества
Ильинская больница (г. Красногорск, Московская обл., РФ)	Clinic Management Group	Энергосберегающие стеклопакеты, удерживающие тепло в помещениях в зимний период и сохраняющие прохладу летом, благодаря чему можно отказаться от использования кондиционеров
Boulder Community Foothills Hospital (Колорадо, США)	Oz Architecture	Открытое пространство состоит исключительно из местного растительного материала и не орошается. Оставшиеся территории больницы засажены смесью местных и адаптивных насаждений, обслуживаемых высокоэффективной системой орошения. Дождевая вода фильтруется на месте для удаления взвешенных твердых частиц. Количество наземных парковок сокращено на 25% от требований городских властей. Затеняющие устройства, остекление с низким энергопотреблением и крыша с высоким коэффициентом теплоизоляции
Медицинский центр Kaiser Permanente (Сан-Диего, Калифорния, США)	Дизайнерская фирма Arup	Установленные в медицинском центре 1560 фотоэлектрических панелей вырабатывают 345 кВт, или 3% годовой потребности в энергии. 100% светодиодное освещение потребляет меньше энергии и расход энергии на отопление, вентиляцию и кондиционирование
Кампус санитарного просвещения. Главный кампус клиники Кливленда (США)	Foster + Partners	Внутренние стены белого цвета, чтобы максимально использовать естественный свет. Внешняя отделка здания включает высококачественные энергоэффективные двойные стеклопакеты
Университет здоровья Индианы, Блумингтон, Индиана (США)	Affiliated Engineers Inc.	Системы охлаждения с замкнутым контуром для стерилизаторов, эффективное кухонное оборудование, местные и адаптивные виды растений, охладители с рекуперацией тепла, минимизация паровых систем и градирни с каплеуловителем и эффективным протоколом очистки воды в совокупности существенно сокращают потребление воды. Крыша из R-30 и хорошо изолированные стены снижают пиковые нагрузки на отопление и охлаждение, а также потребление энергии. Крыша имеет светлый цвет, чтобы еще больше снизить охлаждающую нагрузку в летние месяцы
The Alder Hey Children's Health Park (г. Ливерпуль, Великобритания)	Архитектурная студия BDP	Благодаря озеленению крыши здание стало самым экологически чистым медицинским учреждением в стране: его энергопотребление на 30–40% ниже стандартного, а дождевая вода после сбора и очистки используется повторно

коммерческих зданий аналогичного размера. Медицинские учреждения в США потребляют около 1200 л воды на койку каждый день, а средняя больница в США потребляет 3860 кДж/м<sup>3</sup> в год.

В типичном медицинском центре на освещение, нагрев воды и отопление помещений приходится более 65% потребления энергии. Следовательно, при строительстве медицинских учреждений важно включать в процесс экологические проекты и концепции, чтобы снизить воздействие на окружающую среду, сократить эксплуатационные расходы и повысить энергоэффективность [9, 10].

Многие недавно построенные или отремонтированные больницы и медицинские учреждения по всему миру заботятся не только о своих пациентах, но и об окружающей среде. В этих объектах реализован целый ряд экологических инициатив, от ведения безбумажной документации до энергосберегающих котлов, зеленых крыш и местных электростанций.



Стратегии энергоэффективного проектирования Trias Energetica и метод «Пять шагов» [9]

Trias Energetica Energy Efficiency Design Strategies and the «Five Steps» Method [9]

Все чаще и чаще привлекают архитекторов для внедрения экологических концепций в дизайн больниц. Фактически, согласно отчету SBI Energy, количество ремонтов зеленых зданий будет увеличиваться. Планируется внедрять LEED системы, разработанные Советом по экологическому строительству США для оценки здания и сертификации его как зеленого на основании проектирования, строительства и эксплуатации здания.

Администрация больниц объединилась с дизайнерами, архитекторами и строительными компаниями, чтобы достичь лидерства в области энергетического и экологического дизайна для получения сертификата LEED. Основные меры, принятые для экологических зданий, включают использование энергоэффективных систем освещения и медицинского оборудования, а также использование усовершенствованных систем возобновляемой энергии. В дополнение к более эффективному использованию энергии изучают, как при проектировании использовать больше дневного света и естественную вентиляцию [11–13].

Улучшение качества воздуха – важный компонент проектирования зеленой больницы. Изучаются эффективные способы снижения содержания в воздухе токсинов и загрязняющих веществ во всех углах здания.

К примеру, Калифорнийский Тихоокеанский медицинский центр (СРМС) инициировал несколько конструктивных решений для создания экологически чистой рабочей среды. Одной из таких особенностей является использование водопроводной системы с низким расходом воды.

СРМС также имеет проектную инициативу по улавливанию дождевой воды с крыши и ее использованию для орошения ландшафта, что позволит ежегодно экономить 682,2 тыс. л питьевой воды. Кроме того, собранная дождевая вода также будет использоваться для работы градирен, которые больница использует для системы кондиционирования воздуха.

#### Список литературы

1. Мингалева Ж.А., Депутатова Л.Н., Старков Ю.В. Применение рейтингового метода оценки эффективности государственной экологической политики: сравнительный анализ России и зарубежных стран // *Ars Administrandi (Искусство управления)*. 2018. Т. 10. № 3. С. 419–438. DOI: 10.17072/2218-9173-2018-3-419-438
2. Шубин И.Л., Умнякова Н.П., Матвеева И.В., Андрианов К.А. Качество оболочки здания – основа создания экологически безопасной среды жизнедеятельности // *Жилищное строительство*. 2019. № 6. С. 10–15. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-10-15>
3. Шеина С.Г., Умнякова Н.П., Федяева П.В., Миненко Е.Н. Лучший европейский опыт внедрения энергосберегающих технологий в жилищном фонде Российской Федерации // *Жилищное строительство*. 2020. № 6. С. 29–34. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-29-34>
4. Шеина С.Г., Грачев К.С. Лучшие европейские практики для внедрения возобновляемых источ-

Что касается энергоэффективности, то СРМС реализовала ряд инициатив в области экологического дизайна для достижения уровня энергопотребления на 14% ниже, чем у средней больницы в США. Некоторые из этих конструктивных особенностей включают использование высокоэффективных окон, суперизолированных крыш, датчиков автоматического управления освещением. И самое главное – использование естественного света и вентиляции [14, 15].

В табл. 2 представлены примеры зданий медицинских учреждений, в которых были успешно реализованы программы по повышению энергоэффективности в различных странах мира.

Появляется все больше свидетельств, подтверждающих внедрение этих инициатив при проектировании и строительстве объектов. В широком масштабе экологические проекты и операционные инициативы помогают в достижении ряда глобальных целей, включая решение проблемы изменения климата, стимулирование экономики.

#### Выводы

Многие европейские страны создают свои системы оценки и сертификации зданий, применяемые по всему миру. Системы сертификации были разработаны в 1990-х гг. для того, чтобы сделать экологичность современных зданий очевидной. В настоящее время устойчивый дизайн направлен на снижение негативного воздействия медицинского учреждения на окружающую среду и улучшение здоровья и комфорта пациентов.

#### References

1. Mingaleva Zh.A., Deputatova L.N., Starkov Y.V. Application of the rating method of estimation of efficiency of state environmental policy: comparative analysis of Russia and foreign countries. *Ars Administrandi (Art of management)*. 2018. Vol. 10. No. 3, pp. 419–438. (In Russian). DOI: 10.17072/2218-9173-2018-3-419-438
2. Shubin I.L., Umnyakova N.P., Matveeva I.V., Andrianov K.A. Quality of the building envelope is the basis for creating an environmentally friendly environment of vital activity. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2019. No. 6, pp. 10–15. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-6-10-15>
3. Sheina S.G., Umnyakova N.P., Fedyaeva P.V., Minenko E.N. The best European experience in implementing energy-saving technologies in the housing stock of the Russian Federation. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo [Housing Construction]*. 2020. No. 6, pp. 29–34. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-6-29-34>
4. Sheina S.G., Grachev K.S. Best European practices for implementing renewable energy sources in the Rus-

- ников энергии в РФ // *Инженерный вестник Дона*. 2019. № 5. URL: [ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5993](http://ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2019/5993) (дата обращения: 24.04.2020).
5. Могиленко А. В. Стратегии минимизации проявлений эффекта отскока при внедрении энергосберегающих мероприятий: международный опыт // *Энергосбережение*. 2019. № 3. С. 72–76. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7209](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7209).
  6. Борисоглебская А.П. Эффективные технологии для лечебно-профилактических учреждений. Санитарно-гигиенические требования к микроклимату и воздушной среде // *Энергосбережение*. 2019. № 3. С. 4–12. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7208](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7208).
  7. Шарк Д. Энергоэффективные системы климатизации больниц: особые требования к микроклимату операционных и палат интенсивной терапии // *Энергосбережение*. 2020. № 8. С. 16–24. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7686](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7686).
  8. Zarzycka A., Maassen W., Zeiler W. Энергоэффективные решения в практике проектирования операционных: опыт Нидерландов // *АВОК*. 2019. № 6. С. 40–46. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7393](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7393).
  9. Sheina S.G., Minenko E.N., Sakovskaya K.A. Complex Assessment of Resource-Saving Solutions Efficiency for Residential Buildings Based on Sustainability Theory // *MATEC Web of Conferences – International Conference on Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*. 2017. Vol. 129. Modern–Number of article 05020 (2018).
  10. Stefan Thomas, Johannes Thema, Lars-Arvid Brischke, Leon Leuser, Michael Kopatz, Meike Spitzner. Energy sufficiency policy for residential electricity use and per-capita dwelling size. *Energy Efficiency*. 2018. November.
  11. Константинов А.П., Ибрагимов А.М. Комплексный подход к расчету и проектированию светопрозрачных конструкций // *Жилищное строительство*. 2019. № 1–2. С. 14–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
  12. Eddy Janssen. Energy saving and efficiency // *The European Physical Journal Conferences* 246:00015. January 2020. DOI: 10.1051/epjconf/202024600015
  13. Jeeun Kang. Passive design elements for hospitals to achieve energy saving // *KIEAE Journal* 20(3):59-64. June 2020. DOI: 10.12813/kieae.2020.20.3.059.
  14. Холкин Д. А. Калифорния: форвард зеленой энергетики или страшная сказка? // *Энергетика и промышленность России*. 2020. № 17 (397). С. 39. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/397/9463339.htm>.
  15. Могиленко А.В. Мероприятия по повышению энергетической эффективности. Опыт Германии // *Энергосбережение*. 2018. № 1. С. 50–54. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6832](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6832).
  5. Mogilenko A. V. Strategies for minimizing the effects of the rebound effect when implementing energy-saving measures: international experience. *Energoberezhenie*. 2019. No. 3, pp. 72–76. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7209](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7209).
  6. Borisoglebskaya A. P. Effective technologies for medical and preventive institutions. Sanitary and hygienic requirements for microclimate and air environment. *Energoberezhenie*. 2019. No. 3, pp. 4–12. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7208](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7208).
  7. David Schurk. Energy-efficient hospital air conditioning systems: special requirements for the microclimate of operating rooms and intensive care wards. *Energoberezhenie*. 2020. No. 8, pp. 16–24. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7686](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7686)
  8. Zarzycka A., Maassen W., Zeiler W. Energy-efficient solutions in the practice of designing operating rooms: the experience of the Netherlands. *AVOK*. 2019. No. 6, pp. 40–46. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=7393](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=7393).
  9. Sheina S.G., Minenko E.N., Sakovskaya K.A. Complex Assessment of Resource-Saving Solutions Efficiency for Residential Buildings Based on Sustainability Theory. *MATEC Web of Conferences – International Conference on Trends in Manufacturing Technologies and Equipment (ICMTMTE 2017)*. 2017. Vol. 129. Modern–Number of article 05020 (2018).
  10. Stefan Thomas, Johannes Thema, Lars-Arvid Brischke, Leon Leuser, Michael Kopatz, Meike Spitzner. Energy sufficiency policy for residential electricity use and per-capita dwelling size. *Energy Efficiency*. 2018. November.
  11. Konstantinov A.P., Ibragimov A.M. Complex approach to calculation and design of translucent structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 12, pp. 14–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-1-2-14-17>
  12. Eddy Janssen. Energy saving and efficiency. *The European Physical Journal Conferences* 246:00015. 2020. January. DOI: 10.1051/epjconf/202024600015
  13. Jeeun Kang. Passive design elements for hospitals to achieve energy saving. *KIEAE Journal* 20(3):59-64. 2020. June. DOI: 10.12813/kieae.2020.20.3.059
  14. Kholkin D. A. California: forward of green energy or a scary fairy tale? *Energetika i promyshlennost' Rossii*. 2020. No. 17 (397), p. 39. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/397/9463339.htm>
  15. Mogilenko A.V. Measures to improve energy efficiency. German experience. *Energoberezhenie*. 2018. No. 1. pp. 50–54. URL: [https://www.abok.ru/for\\_spec/articles.php?nid=6832](https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=6832).

УДК 629.4.082.3:631.24

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-8-12>А.М. МОЙСЕЕНКО<sup>1</sup>, д-р техн. наук (puare54@yandex.ru);  
В.К. САВИН<sup>2</sup>, д-р техн. наук (niisf@niisf.ru)<sup>1</sup> Филиал Автономной некоммерческой образовательной организации высшего образования  
«Воронежский экономико-правовой институт» (302038, г. Орел, ул. Раздольная, 105, пом. 5)<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Технико-экономическая целесообразность мероприятий в случае отключения источников энергообеспечения в хранилищах

В ходе эксплуатации системы энергоснабжения зданий по хранению сельскохозяйственной продукции возможны остановки подачи тепла, необходимые для ремонта оборудования. Это происходит в результате аварийных ситуаций, когда отключается вся система энергоснабжения. В этом случае в основной период хранения температура в массе продукции будет возрастать за счет внутренних тепловыделений хранимого сочного сырья. В то же время в верхних слоях продукции, соприкасающихся с воздухом в верхней зоне, температура будет постепенно понижаться. Снижение температуры, например, картофеля ниже +2°C приведет к порче продукции и потерям. Поэтому необходимо осуществить ряд мероприятий, позволяющих обеспечить сохранность сельскохозяйственной продукции в этот период. В статье предложен расчет экономической эффективности осуществляемых мероприятий в период отключения системы энергоснабжения картофелехранилищ. При оценке экономической эффективности мероприятий используется комплексный показатель – приведенные затраты, куда входят сметная стоимость, текущие расходы, сохранность сочного растительного сырья. Предложено два варианта мероприятий. По первому варианту исключается из базисного дублирующая система подачи электроэнергии, но добавляется расход электроэнергии на увеличение температуры массы продукции перед понижением температуры наружного воздуха на случай временного отключения системы энергоснабжения картофелехранилища. Второй вариант расчета технико-экономических показателей предполагает включение в состав сооружений резервной дизельной электростанции вместо дублирующей системы подачи электроэнергии. Получены результаты сравнения приведенных затрат по двум вариантам мероприятий, позволяющим обеспечить сохранность продукции в случае отключения источников энергообеспечения хранилищ.

**Ключевые слова:** источники энергообеспечения хранилища, дублирующая система подачи электроэнергии, себестоимость хранения, приведенные затраты, сохранность продукции.

**Для цитирования:** Моисеенко А.М., Савин В.К. Технико-экономическая целесообразность мероприятий в случае отключения источников энергообеспечения в хранилищах // Жилищное строительство. 2021. № 7. С. 8–12. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-8-12>

A.V. MOISEENKO<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (puare54@yandex.ru);  
V.K. SAVIN<sup>2</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (niisf@niisf.ru)<sup>1</sup> Branch of the Autonomous non-profit educational organization of higher education “Voronezh Economics and Law Institute”  
(105, Razdolnaya Street, Orel, 302038, Russian Federation)<sup>2</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Technical and Economic Feasibility of Measures in Case of Disconnection of Energy Supply Sources in Storage Facilities

During the operation of the power supply system of buildings for the storage of agricultural products, heat supply stops are possible, which are necessary for the repair of equipment. This happens as a result of emergency situations when the entire power supply system is turned off. In this case, during the main storage period, the temperature in the mass of products will increase due to internal heat release of the stored juicy raw materials. At the same time, the temperature in the upper layers of the product in contact with the air in the upper zone will gradually decrease. Reducing the temperature, for example, of potatoes below +2°C will lead to product damage and losses. Therefore, it is necessary to implement a number of measures making it possible to ensure the safety of agricultural products during this period. This article offers a calculation of the economic efficiency of the measures carried out during the shutdown of the power supply system of potato storage facilities. When assessing the economic efficiency of measures, a complex indicator is used – the reduced costs, which includes the estimated cost, current expenses, the safety of juicy vegetable raw materials. Two variants of measures are proposed. According to the first option, the duplicate power supply system is excluded from the basic one, but the electricity consumption is added to increase the temperature of the mass of products before lowering the

outdoor air temperature in case of a temporary shutdown of the potato storage power supply system. The second version of the calculation of technical and economic indicators assumes the inclusion of a reserve diesel power plant in the composition of structures instead of a duplicate power supply system. The results of comparing the reduced costs for two options of measures making it possible to ensure the safety of stored products in the event of disconnection of energy supply sources of storage facilities are obtained.

**Keywords:** storage power supply sources, duplicate power supply system, storage cost, reduced costs, safety of products.

**For citation:** Moiseenko A.M., Savin V.K. Technical and economic feasibility of measures in case of disconnection of energy supply sources in storage facilities. *Zhilyshchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 8–12. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-8-12>

Фрукты, овощи и клубнеплоды всегда занимают существенное и почетное место среди продуктов питания человека. В наши дни научно доказана польза сочного растительного сырья (плоды, фрукты, овощи, картофель). Чтобы сохранить сочную сельскохозяйственную продукцию в свежем виде, необходимо строительство хранилищ с обеспечением оптимальных режимов хранения. В хранилищах устанавливаются автоматизированную отопительно-циркуляционную систему для создания микроклимата в помещении для хранения сочной растительной продукции.

Основное назначение хранилищ сочной сельскохозяйственной продукции – обеспечить температурно-влажностные условия, позволяющие длительное время сохранять продукцию без потерь [1–3]. Например, в зимнее время с помощью автоматизированной отопительно-циркуляционной системы, состоящей из электровентилляторов и электрокалориферов, температура в картофелехранилищах поддерживается равной +2–4°C при относительной влажности воздуха 95–98% [4].

В случае отключения источников энергообеспечения хранилища (системы энергоснабжения здания) нужно знать (с учетом наружных температур и тепловыделений сочного сырья) время, возможное на отключение системы с целью ее ремонта, в течение которого обеспечивается сохранность продукции, а также изменение температуры в хранилище при отключении системы энергоснабжения [5, 6]. Кроме того, следует предусмотреть мероприятия, необходимые для сохранности продукции в данный период хранения. Такие мероприятия не учитывались в работах [7–15].

Решение вопросов инженерного оборудования картофелехранилищ связано с технико-экономической целесообразностью. При оценке эффективности осуществляемых мероприятий необходимо применять комплексный показатель, учитывающий сметную стоимость, текущие расходы и сохранность продукции. Этим показателем являются приведенные затраты, рассчитываемые согласно инструкции (Инструкция по определению экономической эффективности использования в строительстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений. М.: Стройиздат, 1979. 65 с.).

Годовой экономический эффект рассчитывается путем сопоставления приведенных затрат по базовой и новой технике. Приведенные затраты  $\Pi$  представляют собой сумму себестоимости  $C$  и нормативных отчислений от капитальных вложений  $K$  в производственные фонды:

$$\Pi_i = C_i + E_n \cdot K_i, \quad (1)$$

где  $i$  – номер варианта техники;  $E_n$  – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений, который принимается равным 0,15 [16].

В качестве проекта для базисных основных технико-экономических показателей принят рабочий проект «Хранилище семенного картофеля из ЛМК вместимостью 1054 т в колхозе им. Ленина Орловской области». Данный проект 813-2/15–85 с дублирующей системой подачи электроэнергии разработан институтом Гипронисельпром (г. Орел).

Стоимость строительства или капитальные вложения по сводной смете  $K=10621,91$  тыс. р. (цены на период до 1998 г.), куда включаются строительно-монтажные работы (СМР) – 8142,03 тыс. р., стоимость оборудования – 1367,87 тыс. р., прочие затраты – 1112,01 тыс. р. В том числе стоимость картофелехранилища – 5130,02 тыс. р., куда включены СМР – 4072,67 тыс. р., стоимость оборудования – 1057,36 тыс. р. Себестоимость хранения  $C=1331,05$  тыс. р.

Тогда согласно (1) приведенные затраты  $\Pi$  базисного варианта:

$$\Pi=1331,05+0,15 \cdot 10621,91=2924,34 \text{ тыс. р.}, \quad (2)$$

или из расчета на 1 т единовременной вместимости  $\Pi^T=2774,5$  р.

Рассмотрим первый вариант расчета технико-экономических показателей. По этому варианту исключается из базисного дублирующая система подачи электроэнергии, но добавляется расход электроэнергии на увеличение температуры массы продукции перед понижением температуры наружного воздуха  $t_n$  на случай временного отключения системы энергоснабжения картофелехранилища. Как показали теплотехнические расчеты для хранилищ из легких металлических конструкций (ЛМК), дополнительное количество электроэнергии требуется для случая, когда  $t_n$  становится меньше -15°C.

**Основные технико-экономические показатели мероприятий**  
**The main technical and economic indicators of the measures**

№ п/п	Показатель	Единица измерения	Базисный вариант	Первый вариант	Второй вариант
1	Единовременная вместимость	т	1054	1054	1054
2	Сметная стоимость строительства (капитальные вложения)	тыс. р.	10621,91	10454,34	11320,1
2а	– строительно-монтажные работы	тыс. р.	8142,03	8031,82	8320,71
2б	– оборудование	тыс. р.	1367,87	1315,91	1892,79
2в	– прочие затраты	тыс. р.	1112,01	1106,6	1106,61
3	Себестоимость хранения	тыс. р.	1331,05	1317,53	1405,79
4	Приведенные затраты	тыс. р.	2924,34	2885,68	3103,81
5	Приведенные затраты на 1 т единовременной вместимости	р.	2595,19	2737,8	2944,8

Найдем  $K_1$  сметную стоимость строительства картофелехранилища по первому варианту. Из базисной стоимости строительства исключаются:

– комплектная трансформаторная подстанция наружной установки стоимостью 76,88 тыс. р.;

– 50% стоимости вне площадочных и внутриплощадочных сетей электроснабжения – 76,28 тыс. р.

Тогда исключаются прямые затраты на сумму  $76,88+76,28=153,16$  тыс. р.

С учетом начислений по сводной смете – 167,57 тыс. р., в том числе СМР – 110,21 тыс. р., оборудование – 51,95 тыс. р., прочие затраты – 5,41 тыс. р.

Итого сметная стоимость строительства по первому варианту:

$$K_1=10621,91-167,57=10454,34 \text{ тыс. р.},$$

в том числе: СМР – 8031,82 тыс. р., оборудование – 1315,91 тыс. р., прочие затраты – 1106,6 тыс. р.

Рассмотрим себестоимость хранения  $C_1$  по первому варианту. Из базисной себестоимости исключаются амортизационные отчисления и затраты на текущий ремонт на величину, исключаемую из базисной сметной стоимости строительства по рассматриваемому варианту:  $(98 \cdot 0,064 + 97,3 \cdot 0,057) + (98 \cdot 0,064 + 97,3 \cdot 0,057) \cdot 0,15 = 13,57$  тыс. р.

Шифр по принятым действующим нормам амортизационных отчислений: 6,4% – «40701»; 5,7% – «30008».

К базисной себестоимости добавляется стоимость дополнительного количества электроэнергии с учетом увеличения ее годового расхода на 6%:  $0,88 \text{ тыс. р.} \cdot 0,06 \approx 0,05 \text{ тыс. р.}$

Итого себестоимость хранения по первому варианту:

$$C_1=1331,05-13,57+0,05=1317,53 \text{ тыс. р.}$$

Находим приведенные затраты  $\Pi_1$ . По первому варианту согласно (1):

$$\Pi_1=C_1+E_n \cdot K_1=2885,68 \text{ тыс. р.} \quad (3)$$

Приведенные затраты из расчета на 1 т единовременной вместимости  $\Pi_1^T=2737,8$  р.

Второй вариант расчета технико-экономических показателей предполагает включение в состав сооружений резервной дизельной электростанции мощностью 200 кВт вместо дублирующей системы подачи электроэнергии.

В соответствии с паспортом типового проекта 407-3-404,86 сметная стоимость рассматриваемой дизельной электростанции составляет 865,76 тыс. р., в том числе СМР – 288,89 тыс. р., оборудование – 576,88 тыс. р. Общая сметная стоимость строительства по второму варианту:

$$K_2=10454,34+865,76=11320,1 \text{ тыс. р.},$$

в том числе СМР – 8320,71 тыс. р., оборудование – 1892,79 тыс. р., прочие затраты – 1106,61 тыс. р.

Найдем себестоимость хранения  $C_2$  по второму варианту. Из величины годовых эксплуатационных затрат исключается стоимость дополнительного количества электроэнергии 0,05 тыс. р. (первый вариант), но добавляются амортизационные отчисления и затраты на текущий ремонт дизельной электростанции:

$$C_2=1317,53-0,05+865,76 \cdot 0,102=1405,79 \text{ тыс. р.}$$

Шифр по принятым действующим нормам амортизационных отчислений: 10,2% – «40203».

Тогда приведенные затраты  $\Pi_2$  по второму варианту:

$$\Pi_2=C_2+E_n \cdot K_2=3103,81 \text{ тыс. р.},$$

а приведенные затраты из расчета на 1 т единовременной вместимости  $\Pi_2^T=2944,8$  р.

Полученные результаты были сведены в таблицу.

Из таблицы следует, что наиболее экономичным является первый вариант мероприятий, согласно ко-

тому вместо дублирующей системы подачи электроэнергии используется дополнительный расход тепла на увеличение температуры насыпи продукции перед понижением температуры наружного воздуха на случай временного отключения системы энергоснабжения картофелехранилища.

Использование этого варианта мероприятий обеспечивает годовой экономический эффект  $\mathcal{E}$ , определяемый по формуле:

$$\mathcal{E} = (P_1^T - P_2^T)A,$$

где  $A$  – единовременная вместимость картофелехранилища, т.

$$\mathcal{E} = (2944,8 - 2737,8) 1054 = 218178 \text{ р.}$$

Проведенный технико-экономический анализ показывает целесообразность применения первого варианта мероприятий по обеспечению сохранности картофеля.

### Список литературы

1. Бурова Т.Е., Мурашев С.В., Вержун В.Г. Влияние биостимуляции на сокращение потерь при длительном холодном хранении картофеля // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. № 8. С. 132–133.
2. Ильинский А.С., Пугачев В.Ю., Дмитриев А.В., Кузнецов А.М. Развитие технологии хранения фруктов в нерегулируемой атмосфере // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. № 8. С. 52–55.
3. Моисеенко А.М., Лысак О.Г. Моделирование температурно-влажностного режима в зданиях картофелеовощехранилищ // *Строительство и реконструкция*. 2016. № 2 (64). С. 77–84.
4. Kondrashov V.I., Prusakov G.M., Moiseenko A.M. Mathematical simulation of microclimate of sub-surfaced in the ground potato storehouses // *Вестник Орловского государственного аграрного университета*. 2014. № 3 (48). С. 35–51.
5. Кондрашов В.И., Моисеенко А.М. Математическое моделирование теплового состояния овощехранилищ с многослойным внешним ограждением при отключении систем энергоснабжения // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*. 2003. № 3. С. 50–52.
6. Савин В.К., Моисеенко А.М. Энергосбережение при периодическом отключении источников энергоснабжения. В сборнике: *Строительная физика в XXI веке. Материалы научно-технической конференции. Сер. НИИ строительной физики 50 лет*. М.: Агентство по науке и инновациям; Министерство науки и образования РФ; Российская академия архитектурно-строительных наук; Научно-исследовательский институт строительной физики. 2006. С. 252–255.
7. Гиндоян А.Г., Файнштейн В.А., Иванова Н.Н. Влияние временного отключения энергоснабжения систем обеспечения микроклимата на тепловой режим в картофелехранилищах // *Холодильная техника*. 1986. № 9. С. 20–24.
8. Бодров В.И. Хранение картофеля и овощей. Горький: Волго-Вятское издательство, 1985. 224 с.
9. Ивахнов В.И., Мальцева Е.М. Выбор рациональных режимов активного вентилирования карто-

### References

1. Burova T.E., Murashev S.V., Verzhun V.G. The effect of biostimulation on reducing losses during long-term cold storage of potatoes. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2003. No. 8, pp. 132–133. (In Russian).
2. Ilyinsky A.S., Pugachev V.Yu., Dmitriev A.V., Kuznetsov A.M. Development of fruit storage technology in an unregulated atmosphere. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2003. No. 8, pp. 52–55. (In Russian).
3. Moiseenko A.M., Lysak O. G. Modeling of the temperature and humidity regime in potato and vegetable storage buildings. *Stroitel'stvo i rekonstruktsiya*. 2016. No. 2 (64), pp. 77–84. (In Russian).
4. Kondrashov V.I., Prusakov G.M., Moiseenko A.M. Mathematical simulation of microclimate of sub-surfaced in the ground potato storehouses. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2014. No. 3 (48), pp. 35–51. (In Russian).
5. Kondrashov V.I., Moiseenko A.M. Mathematical modeling of the thermal state of vegetable and potato storages with multilayer external fencing when power supply systems are disconnected. *Reports of the Russian Academy of agricultural Sciences*. 2003. No. 3, pp. 50–52. (In Russian).
6. Savin V.K., Moiseenko A.M. Energy saving in case of periodic disconnection of power supply sources. *Construction physics in the XXI century materials of scientific and technical conference. Ser. "Research Institute of construction physics 50 years"*. Moscow: Agency for science and innovation; Ministry of science and education of the Russian Federation, Russian Academy of architectural and construction Sciences, Research Institute of construction physics. 2006, pp. 252–255. (In Russian).
7. Gindoyan A.G., Feinstein V.A., Ivanova N.N. The effect of temporary power outage of microclimate supply systems on the thermal regime in potato storage facilities. *Kholodil'naya tekhnika*. 1986. No. 9, pp. 20–24. (In Russian).
8. Bodrov V.I. *Khraneniye kartofelya i ovoshchei* [Storage of potatoes and vegetables]. Gorky: Volga-Vyatka Publishing House. 1985. 224 p.
9. Ivakhnov V.I., Maltseva E.M. The choice of rational modes of active ventilation of potatoes and vegeta-

- феля и овощей при охлаждении и хранении // *Холодильная техника*. 1985. № 11. С. 21–25.
10. Ильинский А.С. Способы и технические средства удаления углекислого газа при хранении плодов в регулируемой атмосфере // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. № 3. С. 77–79.
  11. Моисеенко А.М., Кондрашов В.И. Математическое моделирование теплового режима насыпи продукции полузаглубленного в грунт хранилища // *Вестник РАСХН*. 2004. № 3. С. 84–85.
  12. Осадчий Г.Г. Энергосбережение при переработке и хранении сельхозсырья // *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2001. № 9. С. 63–65.
  13. Савин В.К., Моисеенко А.М., Кондрашов В.И. Математическое моделирование процессов тепло-влагообмена в насыпи вентилируемой продукции в картофелехранилище. *Сб. докладов восьмой научно-практической конференции (Академические чтения) «Стены и фасады. Актуальные проблемы строительной физики»*. М.: НИИСФ, 2003. С. 276–282.
  14. Kondrashov V.I., Moiseenko A.M. Thermoanalysis of juicy agricultural raw material storehouses with multilayer building envelopes // *Heat and Mass Transfer*. 2005. Vol. 41. Iss. 4, pp. 347–352.
  15. Tashtoush B. Heat-and-mass transfer analysis from vegetable and fruit products stored in cold conditions // *Heat and Mass Transfer*. 2000. Vol. 36/ Iss. 3, pp. 217–221.
  10. Ilyinsky A. S. Methods and technical means of removing carbon dioxide when storing fruits in a controlled atmosphere. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2003. No. 3, pp. 77–79. (In Russian).
  11. Moiseenko A.M., Kondrashov V.I. Mathematical modeling of the thermal regime of the embankment of products of a storage facility semi-buried in the ground. *Vestnik RASHN*. 2004. No. 3, pp. 84–85. (In Russian).
  12. Osadchy G.G. Energy saving during processing and storage of agricultural raw materials. *Khraneniye i pererabotka sel'khozsyrya*. 2001. No. 9, pp. 63–65. (In Russian).
  13. Savin V.K., Moiseenko A.M., Kondrashov V.I. Mathematical modeling of heat and moisture exchange processes in a mound of ventilated products in a potato storage facility. *Collection of reports of the eighth scientific and practical conference (Academic readings) "Walls and facades. Actual problems of construction physics"*. Moscow: NIISF. 2003, pp. 276–282. (In Russian).
  14. Kondrashov V.I., Moiseenko A.M. Thermoanalysis of juicy agricultural raw material storehouses with multilayer building envelopes. *Heat and Mass Transfer*. 2005. Vol. 41. Iss. 4, pp. 347–352.
  15. Tashtoush B. Heat-and-mass transfer analysis from vegetable and fruit products stored in cold conditions. *Heat and Mass Transfer*. 2000. Vol. 36. Iss. 3, pp. 217–221.

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

### «Проектирование оснований, фундаментов и подземных сооружений»

Учебное и практическое пособие под редакцией чл.-корр. РААСН, д-ра техн. наук, проф. Р. А. Мангушева



**Авторы:** д-р техн. наук Р.А. Мангушев,  
канд. техн. наук А.И. Осокин,  
канд. техн. наук В.В. Конюшков,  
канд. техн. наук И.П. Дьяконов,  
канд. техн. наук С.В. Ланько.

Пособие выпущено под грифом рекомендации Российской академии архитектуры и строительных наук (РААСН).

Данное пособие является дополнением к ранее изданным базовым учебникам «Механика грунтов» (2019) и «Основания и фундаменты» (2020). Авторы д-ра техн. наук, проф. Р.А. Мангушев и И.И. Сахаров.

Разработанное пособие является не только учебным изданием, но и практическим руководством для инженеров-строителей, так как охватывает вопросы проектирования основных типов оснований, фундаментов и подземных частей гражданских зданий и сооружений. Особое внимание уделено расчетам различного типа фундаментов, изготовленным по современным отечественным и зарубежным технологиям, а также конструктивным и технологическим методам устройства котлованов. Учтены особенности устройства фундаментов высотных зданий, влияния технологических осадков, рассмотрены численные методы, используемые при геотехнических расчетах. Особенностью книги является наличие большого количества расчетных примеров по различным типам оснований и фундаментов.

Издание рекомендовано для использования при подготовке бакалавров и специалистов.

УДК 628.972

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-13-18>

И.А. ШМАРОВ, канд. техн. наук (Shmarovigor@yandex.ru),  
В.А. КОЗЛОВ, канд. техн. наук (kozlov.vladi@yandex.ru), Л.В. БРАЖНИКОВА, инженер  
Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Системы освещения городских подземных пространств и их влияние на показатели комфортности освещения

*Рассмотрены применяемые в мире системы естественного освещения подземных городских пространств. Подчеркивается важность поступления в такие пространства естественного солнечного света, способствующего созданию психоэмоционального комфорта человека при его нахождении в закрытых пространствах. Отмечается преимущество применения полых трубчатых световодов для подачи естественного света в подземные пространства и обеспечения в них безопасной среды пребывания для людей. Подчеркивается, что применение полых трубчатых световодов в качестве естественного освещения подземных пространств способствует улучшению периферийного зрения человека, это делает более комфортным его пребывание в подземных этажах зданий. Рассмотрены реализованные зарубежные проекты применения инновационных технологий передачи естественного света на основе системы Solatube® для естественного освещения подземных пространств, а также первые проекты, реализованные в РФ. Отмечается актуальность новых систем освещения подземных пространств – гибридных осветительных комплексов, обеспечивающих в подземных пространствах комфортную световую среду в режимах совмещенного и искусственного освещения на основе применения в таких комплексах светодиодов нового поколения со спектральными характеристиками, близкими к показателям солнечного света. Рассмотрен гибридный осветительный комплекс, снабженный системой автоматического регулирования светового потока, поступающего в подземное пространство в зависимости от погодных условий и времени года, который создает в подземных помещениях комфортные условия для органов зрения в зависимости от характера выполняемой работы.*

**Ключевые слова:** естественное освещение, искусственное освещение, подземное пространство, полый трубчатый световод, комфортная световая среда, гибридный осветительный комплекс.

**Для цитирования:** Шмаров И.А., Козлов В.А., Бражникова Л.В. Системы освещения городских подземных пространств и их влияние на показатели комфортности освещения // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-13-18>

I.A. SHMAROV, Candidate of Sciences (Engineering) (Shmarovigor@yandex.ru),  
V.A. KOZLOV, Candidate of Sciences (Engineering) (kozlov.vladi@yandex.ru), L.A. BRAZHNIKOVA, Engineer  
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Lighting Systems for Urban Underground Spaces and Their Impact on the Indicators of Lighting Comfort

The systems of natural lighting of underground urban spaces used in the world are considered. The importance of natural sunlight entering such spaces, which contributes to the creation of psychoemotional comfort of a person when he is in closed spaces, is emphasized. The advantage of using hollow tubular light guides for supplying natural light to underground spaces and providing a safe environment for people to stay in them is noted. It is emphasized that the use of hollow tubular light guides as natural lighting of underground spaces contributes to the improvement of a person's peripheral vision, which makes his stay in the underground floors of buildings more comfortable. The implemented foreign projects of applying innovative technologies of natural light transmission based on the Solatube® system for natural lighting of underground spaces, as well as the first projects realized in the Russian Federation, are considered. The relevance of new lighting systems for underground spaces is noted – hybrid lighting complexes providing a comfortable light environment in underground spaces in combined and artificial lighting modes based on the basis of the use of new-generation of light guides with spectral characteristics close to the indicators of sunlight in such complexes. A hybrid lighting complex equipped with a system of automatic control of the light flux entering the underground space, depending on weather conditions and the time of year, which creates comfortable conditions for the visual organs in underground rooms, depending on the nature of the work performed in them, is considered.

**Keywords:** natural lighting, artificial lighting, underground space, hollow tubular light guide, comfortable lighting environment, hybrid lighting complex.

**For citation:** Shmarov I.A., Kozlov V.A., Brazhnikova L.V. Lighting systems for urban underground spaces and their impact on the indicators of lighting comfort. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 13–18. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-13-18>

Строительство современных подземных общественных и торговых комплексов в современной градостроительной науке именуется комплексным освоением подземного городского пространства (Алпатов С.Н. Концепция развития подземного пространства городов. <https://undergroundexpert.info/issledovaniya-i-tehnologii/nauchnye-stati/razvitiye-podzemnogo-prostranstva-gorodov>). Современное строительство подземных объектов требует выработки новых подходов к организации естественного освещения, поскольку на сегодняшний день практически единственным решением является верхний свет, или так называемый световой колодец. Это достаточно простое и отработанное решение, однако имеющее два существенных недостатка: низкую эффективность освещения при большой занимаемой площади, а также высокие теплопотери из-за наличия в верхней части помещения дополнительного отапливаемого объема зенитного фонаря с малым тепловым сопротивлением [1–4]. Низкая эффективность захвата солнечных лучей обусловлена конструктивными особенностями зенитного фонаря, который на малых углах подъема солнца их практически не улавливает. Следует отметить, что в большую часть года солнце находится на углах подъема от 0 до 35 градусов (полдень в равноденствие), т. е. минимум в течение полугода традиционный зенитный фонарь практически не может эффективно работать. Компенсировать этот недостаток приходится увеличением линейных размеров светового проема, что, в свою очередь, требует повышения площади наружного остекления. Такое решение неизбежно приводит к появлению мостика холода в верхней части объекта, так как тепловое сопротивление зенитного фонаря многократно меньше теплового сопротивления ограждающих конструкций, и, как следствие – к значительному увеличению теплопотерь. Не менее негативным фактором является и нерегулируемость светового потока в летние солнечные дни. Излишний солнечный свет является существенным источником тепла, которое нужно устранять кондиционированием, дополнительной вентиляцией и т. д.

В большинстве случаев для освещения подземных паркингов используется искусственный свет, при этом осветительные приборы должны быть постоянно включенными. Учитывая огромные площади таких помещений, это влечет значительный расход электроэнергии. Поэтому одна из самых актуальных проблем сегодня связана с разработкой альтернативных систем освещения подземных паркингов, которые позволили бы сократить расходы на их обслуживание. Даже самые энергоэффектив-

ные лампы, если они постоянно включены в пустом помещении, продолжают жечь электричество, а, учитывая размеры подземных помещений, расходуют его немало.

Подземные пространства в центрах городов обладают большой привлекательностью для инвесторов, но имеют ограниченное использование в связи с отсутствием естественного света. Для естественного освещения подземных пространств могут использоваться полые трубчатые световоды.

Методика расчета КЕО от полых трубчатых световодов приведена в [5]. Оценивать естественное освещение с помощью полых трубчатых световодов (ПТС) предлагается, как и от обычных светопроемов, с помощью КЕО. При этом при оценке времени использования естественного освещения предлагается использовать не диффузную освещенность от неба, а суммарную от неба и солнца.

При этом общий КПД ПТС  $\eta$  определяется как:

$$\eta = \tau_c \tau_d K_m \xi, \quad (1)$$

где  $\tau_c$  – коэффициент светопропускания рассеивателя (диффузора) ПТС;  $\tau_d$  – коэффициент светопропускания наружного купола ПТС, его оправы и промежуточной линзы;  $K_m$  – коэффициент запаса (учитывает загрязнение купола при эксплуатации);  $\xi$  – эффективность трубы прямолинейного ПТС.

При этом  $\xi$  зависит от коэффициента отражения зеркального покрытия трубы ПТС  $\rho$ , отношения длины ПТС  $L$  к его диаметру  $D$ , т. е. от количества отражений световых лучей внутри трубы и от угла наклона падающих на купол ПТС лучей к его оси  $\theta$ . При этом  $\xi$  может определяться по упрощенной формуле многократных отражений:

$$\xi = e^{LD} \operatorname{tg} \theta \ln \rho / [1 - (L/D) \operatorname{tg} \theta \ln \rho]^{1/2}. \quad (2)$$

Угол  $\theta$  наиболее просто определяется для прямой солнечной составляющей освещенности под открытым небом. При вертикальном положении оси ПТС  $\theta$  равен зенитному расстоянию солнца в данный момент времени, т. е.  $\xi$  зависит от высоты солнца. Среднее значение  $\xi$  хорошо соответствует условиям пасмурного неба МКО (по определению Международной комиссии по освещению), при которых  $\theta=30^\circ$ . Это значение предлагается использовать для расчета.

Световой поток, выходящий из рассеивателя, выражается как:

$$\Phi_d = \eta \Phi_n, \quad (3)$$

где  $\Phi_n$  – световой поток, входящий в ПТС снаружи:

$$\Phi_n = [(180 - \theta) / 180] E_n A, \quad (4)$$

где  $(180-\theta)/180$  – входной коэффициент ПТС;  $A$  – площадь сечения трубы ПТС,  $A=\pi D^2/4$ ;  $E_n$  – горизонталь-

ная освещенность под открытым небом. Если требуется определить значение условного КЕО под ПТС, то берется  $E_n=100\%$ .

Для определения нормы коэффициента естественной освещенности (КЕО) определить коэффициент пропускания световода недостаточно. На выходе светового потока стоит диффузор, который в зависимости от конструкции по-разному распределяет световой поток в помещении.

В некоторых работах предлагается рассчитывать условный КЕО под ПТС в точке М, который определяется как:

$$\varepsilon_M = L_d A / r^2, \quad (5)$$

где  $L_d$  – яркость рассеивателя,  $L_d = \Phi d / (\pi A)$ ;  $r$  – расстояние между центром рассеивателя и расчетной точкой М, в данном случае это высота рассеивателя над рабочей плоскостью.

Подставив в формулу (5) выражения для  $L_d$  и  $A$ , в работе [5], получили формулу для расчета условного КЕО прямо под световодом:

$$\varepsilon_M = [\eta D^2 0,83 / (4 r^2)] 100 (\%), \quad (6)$$

где  $0,83 = (180 - 30) / 180$ ;  $30^\circ$  – средняя высота солнца в градусах, соответствующая условиям пасмурного неба МКО.

Для возможности полноценного расчета КЕО в помещении необходимо экспериментально определять фотометрическое тело сил света, которое можно описать фотометрическим файлом в формате *ies*.

Полые трубчатые световоды позволяют «доставить» свет практически в любую точку внутренних пространств в сооружениях различной заглубленности. При этом потери в светопередаче должны быть минимальными. Например, уже существуют технологии, позволяющие передавать естественный свет на расстояние от 6 до 60 м и более [6].

В строительстве находят применение более простые объемные световоды без концентратора, фактически зеркальные трубы диаметром 100–900 мм, герметично закрытые колпаком приемника с одной стороны и линзой рассеивателя с другой. Самый простейший вариант подобных систем – световой тоннель «Велюкс». При этом необходимо отметить, что все подобные системы с разной степенью эффективности работают при прямых солнечных лучах, но практически бесполезны при рассеянном свете. Поэтому применение одного и того же устройства во Флориде (США), где 300 солнечных дней, и в Центральной части РФ, где их почти в десять раз меньше, даст совершенно разный эффект. Именно количество солнечных дней и является определяющим сдерживающим фактором их внедрения [4].



**Рис. 1.** Установка для подачи солнечного света в подземные вспомогательные помещения (разработка Наньянского технологического университета в Сингапуре)

**Fig. 1.** A unit for supplying sunlight to underground auxiliary rooms (developed by Nanyang Technological University in Singapore)

Следует отметить, что применение полых трубчатых световодов в качестве естественного освещения подземных пространств способствует улучшению периферийного зрения человека, т. е. способности глаза воспринимать объекты, которые находятся по сторонам от прямого взора. Оно помогает человеку видеть в сумеречное и темное время суток, ориентироваться в окружающем мире, свободно перемещаться в пространстве.

На рис. 1 представлен пример солнечного концентратора для подачи солнечного света в подземные вспомогательные помещения (Практика применения систем солнечного освещения в мире. <http://www.solatube.ru/praktika-primenenija-sistem-solnechnogo-osveshchenija-solatube-v-mire>).

В нашей стране технология освещения помещений естественным светом с помощью световодов пока с трудом пробивает себе дорогу. К сожалению, до сих пор нет понимания экономической целесообразности и широких перспектив применения световодов ни со стороны заказчиков, ни со стороны чиновников. Кроме того, государство никак не стимулирует владельцев здания применять энергосберегающие технологии.

К одному из первых проектов системы подачи естественного света в подземное пространство можно отнести проект естественного освещения подвальных помещений Нижегородской правовой академии, представленный на рис. 2 [7]. В центральном здании академии ряд учебных помещений на-



*Рис. 2. Освещение подвальных помещений в Нижегородской правовой академии*  
*Fig. 2. Lighting of basements in the Law Academy (Nizhny Novgorod)*



*Рис. 3. Проект естественного освещения подземной установки системой Solatube®, реализованный в России на станции технического обслуживания в г. Сочи*  
*Fig. 3. The project of natural lighting of the underground installation of the Solatube® system, implemented in Russia at the service station in Sochi*

ходится под землей. Строго говоря, световоды были единственно возможным решением для освещения их естественным светом в рамках требований СП 13330.52.2016 «Естественное и искусственное освещение». Для решения этой задачи было построено десять световых каналов систем Solatube 290DS (диаметр 350 мм).

Применение системы Solatube® для освещения офисов Нижегородской правовой академии позволило уменьшить потребление электроэнергии на освещение на 8,6 МВт/ч в год.

Другим примером использования световодов подземной установки систем Solatube® является реализованный в России проект естественного освещения станции технического обслуживания в городе Сочи. До реализации этого проекта в подвальных помеще-

ниях станции технического обслуживания полностью отсутствовало естественное освещение; при выключении электроэнергии приходилось останавливать рабочий процесс, и сотрудники на ощупь пытались найти выход из помещения. Сейчас проведена реконструкция и применены световоды естественного света. Над автосервисом расположена большая парковка, куполы систем разместили вдоль стены здания. Таким образом, появилась возможность использования максимального пространства для эксплуатации, не пренебрегая комфортными условиями для сотрудников и клиентов (рис. 3) [7].

Закономерным и прогрессивным этапом эволюции систем совмещенного освещения по праву можно считать появление гибридных систем освещения (ГСО) на базе полых трубчатых световодов, в едином



**Рис. 4.** Гибридный осветительный комплекс (ГОК) Solar LED-S на базе ПТС Solatube® M74: 1 – коллектор ПТС Solatube® M74 серии SkyVault; 2 – внешний купол; 3 – внутренний защитный купол; 4 – элемент защиты от проникновения; 5 – бордюрный флешинг; 6 – кольцо фиксации световода; 7 – световод верхней ступени оптического каскада; 8 – светодиодный блок искусственного света (СБИС); 9 – световод нижней ступени оптического каскада; 10 – кольцо для фиксации рассеивателя; 11 – призматический рассеиватель

**Fig. 4.** Hybrid lighting complex (HLC) Solar LED-S based on the Solatube® M74 PTS: 1 – Solatube® M74 PTS collector of the SkyVault series; 2 – external dome; 3 – internal protective dome; 4 – anti-penetration element; 5 – border flashing; 6 – light guide fixing ring; 7 – light guide of the upper stage of the optical cascade; 8 – light-emitting diode block of artificial light (LEDALB); 9 – the light guide of the lower stage of the optical cascade; 10 – the ring for fixing the diffuser; 11 – the prismatic diffuser

устройстве которых объединены конструктивные и излучающие компоненты: источник естественного света – полые трубчатые световоды; источник искусственного света – светодиодные модули и система автоматического управления [8, 9]. Плавное изменение искусственного компонента в зависимости от уровня естественной освещенности, поддерживающего постоянство освещенности рабочего пространства, делает незаметными для глаза переходы в динамично связанной системе: естественный свет – смешанный – искусственный свет.

Внедрение световодов в технику и технологию естественного освещения обозначило новый этап развития систем совмещенного освещения и обусловлено прогрессом в создании материалов с рекордным значением коэффициента отражения (99,7%) по всему спектру видимого излучения. Такой технологический прорыв в области совершенство-

вания отражающих материалов обеспечил предпосылки к созданию систем передачи света на большие расстояния с малыми потерями и стабильными спектральными характеристиками, природным ритмом создаваемой световой среды и физиологически благоприятным световым комфортом.

Пример гибридного осветительного комплекса приведен на рис. 4 [8, 9].

В гибридном осветительном комплексе имеется возможность диммирования двух компонентов: естественного света с помощью механических шторок и искусственно – посредством электроники.

Система Solar LED-S применена при освещении помещений, расположенных в подземных этажах ТЦ МЕГА «Белая Дача» (Москва). При солнечной погоде управление естественной освещенностью осуществляется с помощью диммеров, снижающих или полностью отключающих естественное освещение, например, при проведении презентаций и видеоконференций.

### Выводы

Анализ применяемых в настоящее время в отечественной и зарубежной практике проектирования систем естественного освещения подземных городских пространств показал, что подача света в них осуществляется при использовании своеобразных передатчиков света в виде полых трубчатых световодов.

Проведенный анализ применяемых в мире систем освещения подземных пространств показал актуальность применения гибридных осветительных комплексов для освещения городских подземных пространств, так как при их использовании появляется возможность не только поступления естественного света, но и автоматического регулирования светового потока, поступающего в подземное пространство, в зависимости от погодных условий и времени года с целью создания в помещениях комфортных условий для органов зрения в зависимости от характера выполняемой в них работы.

### Список литературы

1. Куприянов В.Н., Халикова Ф.Р. Пропускание ультрафиолетовой радиации оконными стеклами при различных углах падения луча // *Жилищное строительство*. 2012. № 6. С. 64–65.
2. Соловьёв А.К. Полые трубчатые световоды: их применение для естественного освещения зда-

### References

1. Kupriyanov V.N., Khalikova F.R. Transmission of ultraviolet radiation by window panes at different angles of incidence of the beam. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2012. No. 6, pp. 64–65. (In Russian).
2. Soloviev A. K. Hollow tubular light guides: their application for natural lighting of buildings and ener-

- ний и экономия энергии // *Светотехника*. 2011. № 5. С. 41–47.
3. Бракле Д.Ж. Естественное освещение помещений с помощью новой пассивной световодной системы «SolarSpot» // *Светотехника*. № 5. 2005. С. 34–42.
  4. Коркина Е.В., Шмаров И.А., Тюленев М.Д. К расчету коэффициента, учитывающего потери солнечной радиации в переплетах оконных блоков // *Жилищное строительство*. 2021. № 6. С. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-11-175>.
  5. Соловьёв А.К. Естественное освещение подземных пространств // *Светотехника*. 2018. № 2. С. 70–74.
  6. Земцов В.А., Гагарина Е.В. Метод расчета светопропускания оконных блоков с использованием экспериментальных данных по светопропусканию стекол // *Светопрозрачные конструкции*. 2010. № 5–6. С. 22–25.
  7. Калеев А.В. Применение полых трубчатых световодов для естественного освещения зданий в России. *Сб. избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие». Материалы международной научной конференции «Технические и естественные науки. Безопасность: информация, техника, управление»*. СПб., 26–30 апреля 2020 г. С. 87–89.
  8. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещенного освещения: концепция, состояние проблемы, опыт применения // *Светотехника*. 2018. № 1. С. 28–34.
  9. Овчаров А.Т., Селянин Ю.Н., Анцупов Я.В. Гибридный осветительный комплекс для систем совмещенного освещения: исследование и оптимизация оптического тракта // *Светотехника*. 2018. № 4. С. 56–61.
  - gy saving. *Svetotekhnika*. 2011. No. 5, pp. 41–47. (In Russian).
  3. Brackla D. J. Natural lighting with the new passive fiber system “SolarSpot”. *Svetotekhnika*. No. 5. 2005, pp. 34–42. (In Russian).
  4. Korkina E.V., Shmarov I.A., Tyulenev M.D. Calculation of the coefficient taking into account the losses of solar radiation in the frames of window blocks. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 6, pp. 11–17. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-6-11-175>
  5. Solovyov A. K. Natural lighting of underground spaces. *Svetotekhnika*. 2018. No. 2, pp. 70–74.
  6. Zemtsov V.A., Gagarin E.V. Method for calculating the light transmission of window blocks using experimental data on the light transmission of glass. *Svetoprozrachnyye konstruksii*. 2010. No. 5–6, pp. 22–25. (In Russian).
  7. Kaleev A.V. The use of hollow tubular light guides for natural lighting of buildings in Russia. *Collection of selected articles based on the materials of scientific conferences of the State Research Institute “National Development”. Materials of the international scientific conference “Technical and Natural Sciences. Security: information, technology, management”*. Saint Petersburg. 26–30 April 2020, pp. 87–89.
  8. Ovcharov A.T., Selyanin Yu.N., Antsupov Ya.V. Hybrid lighting complex for combined lighting systems: concept, state of the problem, experience of application. *Svetotekhnika*. 2018. No. 1, pp. 28–34. (In Russian).
  9. Ovcharov A.T., Selyanin Yu.N., Antsupov Ya.V. Hybrid lighting complex for combined lighting systems: research and optimization of the optical path. *Svetotekhnika*. 2018. No. 4, pp. 56–61. (In Russian).

## СПЕЦИАЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Учебное пособие «Промышленное и гражданское строительство. Введение в профессию»**

Авторы: Грызлов В.С., Ворожбянов В.Н., Гендлина Ю.Б., Залипаева О.А., Каптюшина А.Г., Медведева Н.В., Петровская А.А., Поварова О.А., Чорная Т.Н.

Научный редактор – д-р техн. наук, проф. В.С. Грызлов

Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. 276 с.

Дана общая характеристика профессии строитель. Приведены сведения из истории развития строительной отрасли. Предложено краткое описание видов строительной продукции, особенностей проектирования строительных объектов, технологии и порядка организации возведения зданий и сооружений; раскрыты вопросы менеджмента в строительстве. Подчеркнута важность строительной науки и цифровизации строительной деятельности. Отдельная глава посвящена особенностям организации инженерно-строительного обучения. Для студентов бакалавриата, начавших обучение по направлению «Строительство». Может быть использовано для профориентационной работы с выпускниками школ.



По вопросам приобретения обращайтесь в издательство «Инфра-Инженерия»

УДК 536.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-19-29>

Е.В. ЛЕВИН<sup>1</sup>, канд. физ.-мат. наук (aqwsvr@list.ru); А.Ю. ОКУНЕВ<sup>1,2</sup>, канд. физ.-мат. наук

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> Государственный университет по землеустройству (105064, г. Москва, ул. Казакова, 15)

## Учет нестационарности теплопереноса при теплотехнических обследованиях ограждающих конструкций

*Используемые для теплотехнических обследований ограждающих конструкций методы измерения плотности тепловых потоков и тепловизионной диагностики требуют того, чтобы тепловой перенос в ограждающих конструкциях был близок к стационарному. Но ограждающие конструкции постоянно подвергаются внешним тепловым воздействиям (солнечное излучение, суточные изменения температуры наружного воздуха и др.). Поэтому при обследованиях должны использоваться доступные и достоверные методы оценок времени релаксации тепловых воздействий в толще конструкций. В течение этого времени тепловизионные обследования не проводятся, а результаты, полученные при измерении плотности теплового потока, должны быть исключены из дальнейшей математической обработки. В работе представлены результаты исследования величин характерных времен релаксации тепловых воздействий в однослойных, многослойных (различного типа) и светопрозрачных ограждающих конструкциях. Получены формулы для расчета времени тепловой инерции ограждающих конструкций. Результаты получены с помощью численного моделирования одномерного нестационарного теплопереноса.*

**Ключевые слова:** нестационарный теплоперенос, ограждающая конструкция, тепловой поток, тепловизионная диагностика, коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, численное моделирование.

Представленные в статье результаты получены при финансовой поддержке при выполнении договора с ФАУ ФЦС № 138/2020 от 19.05.2020.

**Для цитирования:** Левин Е.В., Окунев А.Ю. Учет нестационарности теплопереноса при теплотехнических обследованиях ограждающих конструкций // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 19–29.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-19-29>

E.V. LEVIN<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) (aqwsvr@list.ru);

A.Y. OKUNEV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Physics and Mathematics) (okunevay@gmail.com)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences, RAACS (21, Locomotivny Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> State University of Land Use Planning (15, Kazakova Street, Moscow, 105064, Russian Federation)

### Taking Into Account the Non-Stationarity of Heat Transfer During Thermal Engineering Inspections of Enclosing Structures

Methods for measuring the density of heat fluxes and thermal imaging diagnostic used for thermal engineering inspections of enclosing structures require that the heat transfer in the enclosing structures be close to stationary. But the enclosing structures are constantly exposed to external thermal influences (solar radiation, daily changes in the temperature of the outside air, etc.). Therefore, during inspections accessible and reliable methods for estimating the relaxation time of thermal effects in the thickness of structures should be used. During this time, thermal imaging surveys usually are not carried out, and the results obtained by measuring the heat flux density should be excluded from further mathematical processing. The paper presents the results of a study of the values of the characteristic relaxation times of thermal effects in single-layer, multi-layer (of various types) and translucent enclosing structures. Formulas for calculating the time of thermal inertia for enclosing structures are obtained. The results are obtained by numerical simulation of one-dimensional non-stationary heat transfer.

**Keywords:** non-stationary heat transfer, enclosing structure, heat flux, thermal imaging diagnostics, thermal conductivity coefficient, specific heat, numerical simulation.

The results presented in the article were obtained with financial support when implementing the contract with the FAA of the Federal Tax Service No. 138/2020 of 19.05.2020.

**For citation:** Levin E.V., Okunev A.Y. Taking into account the non-stationarity of heat transfer during thermal engineering inspections of enclosing structures. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 19–29. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-19-29>

При теплотехнических обследованиях ограждающих конструкций строительных объектов среди методов неразрушающего контроля наиболее часто используют контактный метод измерения плотности тепловых потоков и бесконтактный тепловизионный метод измерения температурного поля на поверхности конструкции [1–12]. Метод измерения тепловых потоков при одновременном измерении температуры на поверхности конструкции позволяет рассчитать ее приведенное сопротивление теплопередаче, т. е. теплозащитные свойства ограждающей конструкции. Тепловизионный метод по видимым на термограмме аномалиям распределения температуры на поверхности позволяет определить местоположение дефектных зон тепловой изоляции и при обеспечении минимальных методических погрешностей [13, 14] с его помощью и дополнительного контактного измерения температуры можно также рассчитать приведенное сопротивление теплопередаче. Метод измерения плотности теплового потока реализуется в течение продолжительного периода времени (за несколько дней или недель) и является «точечным» методом, т. е. результаты измерения относятся к выбранным точкам расстановки датчиков или к участку поверхности ограждающей конструкции, если, например, с помощью тепловизионного метода доказано, что она теплотехнически однородна. Тепловизионный метод измерения относится к сравнительно большим участкам ограждающей конструкции и является «мгновенным» методом, т. е. результат фиксируется на одной или нескольких термограммах. Оба эти метода могут быть использованы как самостоятельные, но могут и дополнять друг друга.

Оба метода имеют одно и то же ограничение по применимости, связанное с тепловыми процессами, протекающими в обследуемой ограждающей конструкции. Эти ограничения отражены в соответствующих документах, регулирующих правила проведения обследований (ГОСТ Р 54853–2011 «Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера» и ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций»). В документах указывается на необходимое условие того, что перенос тепла в ограждающих конструкциях должен быть близок к стационарному.

Нестационарность переноса тепла в ограждающей конструкции может быть связана с воздействиями со стороны наружного и внешнего окружающего воздуха с непостоянной температурой (например, суточные колебания температуры наружного воздуха), нагревом поверхности за счет солнечной радиации, ветровыми воздействиями, воздействиями за счет осадков и др. При измерении плотности тепловых по-

токов внутренняя нестационарность теплопереноса приводит к тому, что за счет накопления тепла внутри конструкции входящий в ограждающую конструкцию тепловой поток не равен выходящему измеряемому и будет нарушен общий принцип теплового контроля. Измеряемая величина перестает быть той величиной, которая может быть использована для расчета теплотехнической характеристики ограждающей конструкции – приведенного сопротивления теплопередаче.

При использовании тепловизионного метода базовым условием является тепловое равновесие обследуемого объекта с окружающей средой. В противном случае имеет место невыполнение законов Кирхгоффа и нарушение теплового баланса для расчета измеряемой температуры. Тепловое равновесие подразумевает, что в течение достаточно большого времени температура измеряемого объекта и температура окружающего воздуха и окружающих объектов не меняются, хотя могут быть разными. Это, в частности, эквивалентно тому, что в ограждающей конструкции отсутствует нестационарный перенос тепла, который может привести к изменениям температуры обследуемой поверхности. Наблюдаемая тепловизором температура в каждой точке на поверхности соответствует своему истинному мгновенному значению, но это вовсе не означает, что получаемое распределение температуры (температурное поле) и наблюдаемые на нем температурные аномалии (их величина и местоположение) соответствуют причинам, их вызывающим. При нестационарном теплопереносе зафиксированные в один момент времени различия температуры в разных точках не могут достоверно свидетельствовать о нарушениях тепловой изоляции, а сама переменная во времени измеряемая температура не может быть использована для расчета приведенного сопротивления теплопередаче.

Документы ГОСТ Р 54853–2011 и ГОСТ Р 54852–2011 и другие известные источники научно-технической информации хотя и требуют проведения теплотехнических обследований в условиях, максимально приближенных к стационарным, но не содержат указаний на то, по каким критериям может быть определена достаточная стационарность теплопереноса для получения достоверных результатов измерений.

Целью настоящего исследования является определение общих критериев, следующих из теплотехнических свойств ограждающих конструкций и их устройства, по которым, зная о происходящих внешних тепловых воздействиях на ограждающую конструкцию, могут быть определены интервалы времени, после которых эти тепловые воздействия релаксируют до требуемой степени стационарности теплопереноса. Например, на обследуемую поверхность началось воздействие солнечного излучения, которое потом

прекратилось. В этих условиях в общем случае тепло-технические измерения проводить нельзя. Вопрос в том, сколько времени должно пройти после начала воздействия или после его прекращения (прекращение воздействия приводит к новому нестационарному тепловому переносу), чтобы измерения могли быть возобновлены и они были бы достоверными.

Решаемая задача относится к исследованию нестационарного теплопереноса в ограждающих конструкциях. В этой области известен ряд публикаций [15–22], в которых изучается влияние различных внешних тепловых воздействий на температурно-влажностный режим внутри зданий. Но работы, специально посвященные изучению общих характеристик нестационарных процессов в ограждающих конструкциях различного типа, которые позволили бы установить условия применимости методов теплотехнических обследований конструкций, отсутствуют.

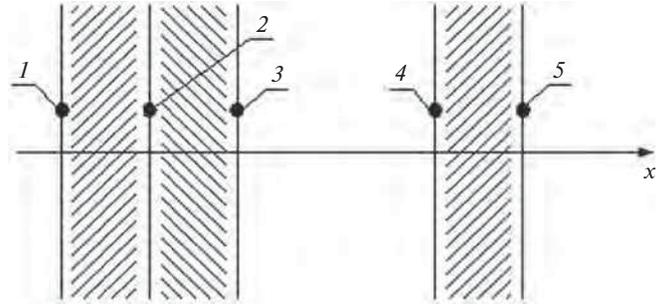
### Модели и методы

Исследования, результаты которых приведены в настоящей статье, выполнены с использованием следующей методики. Задачей исследования было определить набор масштабов времени, характеризующих релаксацию температуры, теплового потока и тепловой энергии в толще ограждающей конструкции, в случае, когда к одной из ее поверхностей прикладывается тепловое возмущение. Из общей теории теплопереноса за счет механизма теплопроводности следует, что эти характерные масштабы времени должны быть постоянными величинами для данной ограждающей конструкции. Они могут зависеть только от того, какими теплофизическими свойствами обладает ограждающая конструкция (распределения в ее толще коэффициента теплопроводности и удельной теплоемкости) и ее геометрическими характеристиками (общая толщина и толщины слоев с различными теплофизическими коэффициентами). От величины прикладываемого возмущения зависит только амплитуда изменения температуры и тепловых потоков внутри конструкции, а характерные масштабы времени релаксации не должны зависеть. Рассматриваются различные ограждающие конструкции, включая однослойные и многослойные утепленные стены, стеклопакеты с различными формулами.

При решении задачи рассматривается одномерный теплоперенос поперек ограждающей конструкции (полагается, что конструкция является однородной по площади, а ее толщина много меньше длины и ширины).

В такой постановке нестационарный перенос тепла в конструкциях описывается уравнением непрерывности для теплового потока:

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$



**Рис. 1.** Схема расчетной области для постановки граничных условий: 1 – граница расчетной области и внутреннего воздуха помещения; 2 – границы  $m$ -го и  $m+1$  слоев ограждающей конструкции; 3 – левая граница между твердым слоем и газовой прослойкой (газ в стеклопакете); 4 – правая граница между газовой прослойкой и твердым слоем; 5 – граница расчетной области и наружного воздуха

**Fig. 1.** Scheme of the computational domain for setting boundary conditions: 1 – the boundary of the computational domain and the indoor air of the room; 2 – the boundaries of the  $m$ -th and  $m+1$  layers of the enclosing structure; 3 – the left boundary between the solid layer and the gas layer (gas in a double-glazed window); 4 – the right boundary between the gas layer and the solid layer; 5 – the boundary of the computational domain and the outside air

где  $T$  – температура, °C;  $x$  – координата поперек ограждающей конструкции, м;  $t$  – время, с;  $D = \lambda/C$  – температуропроводность материала конструкции, м<sup>2</sup>/с;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·°C);  $C$  – удельная теплоемкость, Дж/(м<sup>3</sup>·°C). Расчетная область на примере трехслойной ограждающей конструкции, содержащей газовую прослойку (например, камера стеклопакета или изолированная воздушная прослойка стены), приведена на рис. 1.

Для решения уравнения (1) использованы следующие граничные и начальные условия, соответствующие приведенной на рис. 1 схеме:

– граница расчетной области и внутреннего воздуха помещения (точка 1):

$$\alpha_{in}(T_{in} - T_1) = -\lambda_1 \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_1^+ \quad (2)$$

Здесь  $\alpha_{in}$  – коэффициент теплоотдачи внутреннему воздуху (Вт/м<sup>2</sup>/°C);  $T_{in}$  – температура внутреннего воздуха;  $T_1$  – температура поверхности ограждающей конструкции (подлежит расчету);

– границы  $m$ -го и  $m+1$  слоев ограждающей конструкции (точка 2):

$$\lambda_m \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_2^+ = \lambda_{m+1} \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_2^- \quad (3)$$

– левая граница между твердым слоем и газовой прослойкой (газ в стеклопакете, точка 3 на рис. 1):

$$-\lambda \frac{\partial T_3}{\partial x} \Big|_3^- + \epsilon_{34} \sigma (T_4 + 273,15)^4 = -\lambda_{gas} \frac{\partial T_3}{\partial x} \Big|_3^+ - \epsilon_{34} \sigma (T_3 + 273,15)^4; \quad (4)$$

– правая граница между газовой прослойкой и твердым слоем (точка 4):

$$-\lambda_{gas} \frac{\partial T_4}{\partial x} \Big|_4^- + \epsilon_{34} \sigma (T_3 + 273,15)^4 = -\lambda \frac{\partial T_4}{\partial x} \Big|_4^+ - \epsilon_{34} \sigma (T_4 + 273,15)^4; \quad (5)$$

– граница расчетной области и наружного воздуха (точка 5):

$$\alpha_{out}(T_{out}-T_5)=-\lambda\frac{\partial T}{\partial x}, \quad (6)$$

где  $T_{out}$  – температура наружного воздуха, °С;  $\alpha_{out}$  – коэффициент теплоотдачи наружному воздуху, Вт/(м<sup>2</sup>·°С).

В граничных условиях (4) и (5)  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^4}$  – постоянная Стефана-Больцмана ( $K$  – абсолютная температура в градусах Кельвина);  $T_3$  и  $T_4$  – температура поверхности соответствующих твердых слоев;  $\lambda_{gas}$  – коэффициент теплопроводности газа между твердыми слоями с учетом конвекции;  $\epsilon_{34}$  – эффективный коэффициент излучения, определяемый по формуле:

$$\epsilon_{ij} = \frac{1}{1/\epsilon_i + 1/\epsilon_j - 1}, \quad (7)$$

где  $\epsilon_i$  и  $\epsilon_j$  – коэффициенты излучения поверхности соответствующих твердых слоев.

В качестве начального условия использовано условие:

$$T(x,0) = T_{in}. \quad (8)$$

В этом начальном условии полагается, что перед началом теплового воздействия на наружную поверхность температура наружного воздуха и температура внутри ограждающей конструкции равны температуре внутреннего воздуха. При этом тепловой поток через ограждение отсутствует.

Краевая задача (1) – (8) решалась численно с использованием явного конечно-разностного метода, построенного по схеме Дюфорта-Франкеля [23], обладающего абсолютной устойчивостью.

### Результаты исследования и их анализ

Расчетные исследования с использованием разработанной модели выполнены на девяти типах ограждающих конструкций: три однослойные стены, две двухслойные стены, две трехслойные и два стеклопакета. Варьируются материалы и их размещение в конструкции. Один из стеклопакетов является однокамерным без использования эмиссионного покрытия, а второй – двухкамерным с низкоэмиссионным покрытием внутренних поверхностей стекол и с заполнением аргоном. Типы исследуемых конструкций и их параметры приведены в табл. 1.

Для стеклопакетов геометрические параметры и тип стекла заданы в виде формул, где последовательные цифры означают толщину стекла и газовой камеры, а буква «И» и ее местоположение означают, что на соответствующей стороне стекла использовано низкоэмиссионное мягкое покрытие. Используемые толщины слоев конструкций примерно соответствуют тем, что применяются на практике.

Исследования проведены с помощью постановки вычислительных экспериментов, в которых внутри помещения поддерживается постоянная температура  $T_{in}=+20^\circ\text{C}$ . До момента теплового воздействия температура наружного воздуха также является постоянной и равна  $T_{out}=+20^\circ\text{C}$ .

В исследованиях в момент теплового воздействия температура наружного воздуха скачкообразно снижается на  $20^\circ\text{C}$  и далее поддерживается постоянной. Такое большое снижение температуры, как указывалось выше, не влияет на изучаемые характеристиче-

Таблица 1  
Table 1

Исследуемые конструкции стен и их параметры  
The studied wall structures and their parameters

Тип конструкции	Состав конструкции, материалы	$\delta^*$ , мм	$C$ , МДж/м <sup>3</sup> /°С	$\lambda$	$D$	$\epsilon_{12}$
Кирпичная стена	Кирпич глиняный на цементно-песчаном растворе	500	1,77	0,81	$4,58 \cdot 10^{-7}$	
Стена из газоблоков	Газобетон на цементном вяжущем растворе, плотность 600 кг/м <sup>3</sup>	250	0,9	0,26	$2,88 \cdot 10^{-7}$	
Стена из эффективного утеплителя	Пенополистирол, плотность 25 кг/м <sup>3</sup>	150	0,05	0,044	$8,8 \cdot 10^{-7}$	
Стена бетон – минвата	Железобетон, плотность 2500 кг/м <sup>3</sup> Плиты минераловатные, плотность 180 кг/м <sup>3</sup>	200	2,49	2,04	$8,2 \cdot 10^{-7}$	
		150	0,198	0,048	$2,42 \cdot 10^{-7}$	
Стена минвата – бетон	Минвата Железобетон	150	0,198	0,048	$2,42 \cdot 10^{-7}$	
		200	2,49	2,04	$8,2 \cdot 10^{-7}$	
Стена минвата – бетон – минвата	Минвата Железобетон Минвата	50	0,198	0,048	$2,42 \cdot 10^{-7}$	
		100	2,49	2,04	$8,2 \cdot 10^{-7}$	
		50	0,198	0,048	$2,42 \cdot 10^{-7}$	
Стена бетон – минвата – бетон	Железобетон Минвата Железобетон	100	2,49	2,04	$8,2 \cdot 10^{-7}$	
		100	0,198	0,048	$2,42 \cdot 10^{-7}$	
		100	2,49	2,04	$8,2 \cdot 10^{-7}$	
Однокамерный стеклопакет	Формула 6 – 20-6	Для стекла Для воздуха	2,1 $1,34 \cdot 10^{-3}$	0,76 0,0236	$3,62 \cdot 10^{-7}$ $1,76 \cdot 10^{-5}$	0,8
Двухкамерный стеклопакет	Формула 6И-14Аг-И6И-14Аг-И6	Для аргона	$0,93 \cdot 10^{-3}$	0,017	$1,83 \cdot 10^{-5}$	0,04

\* Толщина слоя конструкции, мм.

ские времена релаксации и выбрано только для того, чтобы можно было достаточно наглядно проследить за изменениями температуры на внутренней поверхности ограждающей конструкции, проходящего через нее теплового потока и количества тепла внутри конструкции. После теплового воздействия в ограждающей конструкции возбуждается нестационарный тепловой поток, который на внешней поверхности скачкообразно принимает большую величину и постепенно уменьшается, а на внутренней поверхности начинает увеличиваться. По мере релаксации оба потока постепенно принимают одну величину, которая и будет стационарным значением, соответствующим созданному градиенту температуры на ограждающей конструкции. Количество тепловой энергии внутри конструкции уменьшается, достигая стационарного значения. Динамика изменения теплового потока, тепловой энергии конструкции и температуры поверхности, а также характерные времена переходных процессов являются предметом изучения.

При проведении вычислительных экспериментов анализу подлежали следующие основные зависимости:

- изменение во времени плотности теплового потока, поступающего из помещения в ограждающую конструкцию  $q_{in}(t)$ , Вт/м<sup>2</sup>;

- изменение во времени плотности теплового потока, уходящего в наружный воздух через противоположную поверхность конструкции  $q_{out}(t)$ , Вт/м<sup>2</sup>;

- изменение во времени плотности тепловой энергии, содержащейся в ограждающей конструкции  $U(t)$ , МДж/м<sup>2</sup>. Тепловая энергия приводится к единице площади ограждающей конструкции. Ноль плотности тепловой энергии принят соответствующим температуре 0°C.

На рис. 2 приведены указанные зависимости, полученные на примере ограждающей конструкции типа 1 (табл. 1, кирпичная стена).

Из графиков видно, что для потока на внутренней поверхности  $q_{in}(t)$  существует период задержки  $\delta t$ , в течение которого величина потока практически не реагирует на температурные изменения на наружной поверхности ограждения. Для потока  $q_{out}$ , в силу того, что тепловое воздействие осуществлено на наружной поверхности, изменения происходят одновременно с изменением температуры наружного воздуха. Существование задержки изменения теплового потока  $q_{in}$  означает, что температура на внутренней поверхности некоторое время остается неизменной. При этом время  $\delta t$  – это то время, в течение которого внутри помещения еще может проводиться тепловизионная съемка, несмотря на начавшиеся уже температурные изменения снаружи конструкции. Измерения плотности теплового потока для расчетов приведенного сопротивления теплопередаче в это время уже про-

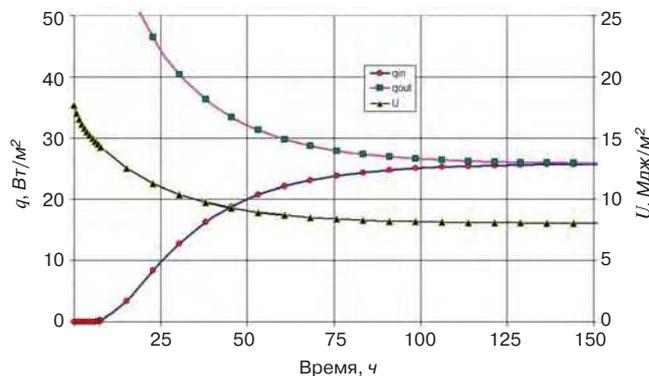


Рис. 2. Динамика изменения во времени плотности тепловых потоков через поверхности и тепловой энергии в ограждающей конструкции после температурного воздействия

Fig. 2. Dynamics of time changes in the density of heat flows through surfaces and thermal energy in the enclosing structure after temperature exposure

водиться не могут, поскольку изменилась температура наружного воздуха, которая используется для расчетов приведенного сопротивления теплопередаче. По истечении периода времени  $\delta t$  ни тепловизионная съемка, ни измерения потоков при теплотехнических обследованиях зданий не позволяют получать объективные данные по теплозащитным свойствам ограждающей конструкции до тех пор, пока величины тепловых потоков  $q_{out}$  и  $q_{in}$  не сравняются с определенной степенью точности.

Разбаланс тепловых потоков:

$$\Delta q(t) = q_{out}(t) - q_{in}(t) \quad (9)$$

можно считать мерой нестационарности теплового переноса. Далее в исследованиях для определенности принято, что теплоперенос можно считать достаточно близким к стационарному, чтобы можно было проводить теплофизические обследования, когда относительный разбаланс тепловых потоков:

$$\chi(t) = \Delta q(t) / q_{in}(t) \cdot 100\% \quad (10)$$

составляет 10% и менее. Этому условию соответствует время 90% релаксации теплового воздействия  $\tau_{90}$  (далее для удобства используется термин *время тепловой инерции*), которое для каждой ограждающей конструкции может быть определено численными расчетами. Например, для кирпичной стены (табл. 1) это время определяется из расчетной зависимости, приведенной на рис. 3.

Для того чтобы выделить характерные масштабы времени теплопереноса в ограждающей конструкции (они зависят только от теплофизических свойств материалов, используемых в конструкции, и от взаимного расположения и размеров теплозащитных и несущих слоев) и сопоставить их со временем тепловой инерции  $\tau_{90}$ , в вычислительных экспериментах проведена серия соответствующих расчетов. В этих расчетах фиксировались периоды времени, в течение которых вели-

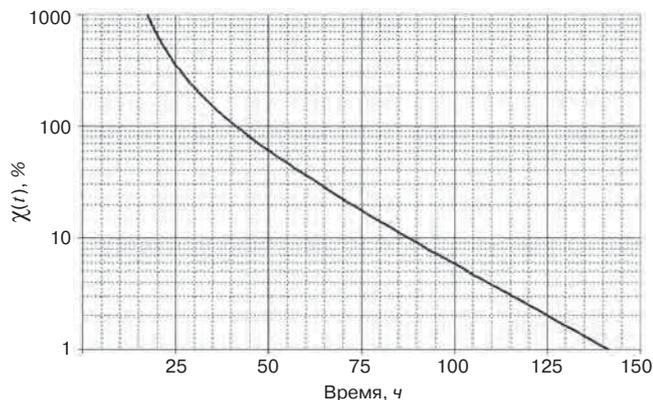


Рис. 3. Относительный разбаланс тепловых потоков в кирпичной стене в течение переходного процесса

Fig. 3. Relative unbalance of heat flows in a brick wall during the transition process

чины  $\Delta q(t)$  и  $U(t)$  изменялись во времени в  $e=2,718$  раза и тем самым определялись мгновенные значения постоянных времени, которые могут соответствовать экспоненциальному изменению этих величин. Мгновенные значения постоянных времени по мере протекания переходного процесса постепенно увеличиваются и достигают некоторой предельной величины, которая и является искомой величиной характерных для данной конструкции масштабов времени. В качестве таких масштабов времени используется постоянная времени  $\tau_j$  для изменений разбаланса тепловых потоков (9) и постоянная времени  $\tau_U$  изменения тепловой энергии при ее переходе к новому стационарному значению. На рис. 4 приведено полученное расчетным путем в течение переходного периода изменение во времени постоянной  $\tau_j$  для кирпичной стены.

Главным здесь является не то, когда достигается эта стационарная величина, а то, что установившееся значение постоянной времени  $\tau_j$  является вполне конкретной величиной, которая может быть использована для данной ограждающей конструкции в качестве характеристики нестационарного теплопереноса при завершении его релаксационного периода. Эта величина является расчетной. Еще раз подчеркнем, что значение  $\tau_j$  не зависит от величины теплового воздействия на ограждающую конструкцию, а определяется только ее теплофизическими и геометрическими характеристиками. Аналогично может быть рассчитано и установившееся значение постоянной времени для процесса релаксации внутренней энергии  $\tau_U$ .

Приведенные выводы получены на основе примера расчета теплопереноса в однослойной ограждающей конструкции (конструкция Типа-1, табл. 1). Аналогичные расчеты проведены и для многослойных конструкций, включая светопрозрачные. Оказывается, что полученные таким образом постоянные времени  $\tau_j$  и  $\tau_U$  для различных ограждающих конструкций различны и не являются универсальными величинами, позволя-

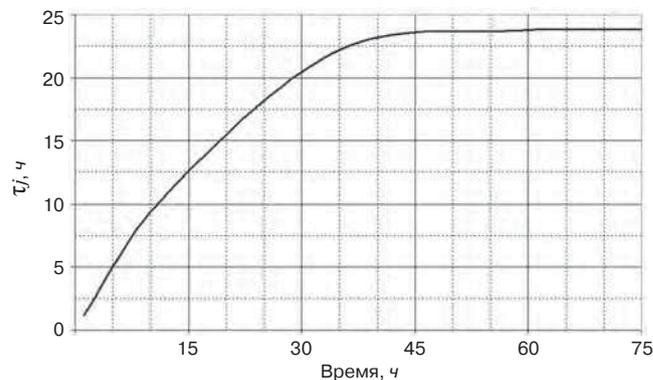


Рис. 4. Изменение постоянной времени при релаксации тепловых потоков в течение переходного периода (конструкция Типа-1)

Fig. 4. Change in the time constant at relaxation of heat flows during the transition period (Type 1 structure)

ющими оценить время тепловой инерции  $\tau_{90}$ , которая необходима при теплофизических обследованиях. Самостоятельный расчет  $\tau_{90}$  является сложным и требует численного решения уравнения нестационарного теплопереноса для каждого отдельного случая, что может быть трудновыполнимым для специалистов, проводящих теплофизические обследования.

Ниже приводятся результаты исследований, целью которых являлось получение способов оценки (расчета) времени тепловой инерции  $\tau_{90}$  конструкций различного типа. Для этого вместо постоянных  $\tau_j$  и  $\tau_U$  использован дополнительный набор характерных масштабов времени, которые могут быть вычислены не прибегая к численным методам и специальному программному обеспечению.

Рассмотрим эти характеристики и возможности их использования.

### 1. Постоянная времени $\tau_o$

Данная постоянная соответствует масштабу времени в уравнении теплопереноса (1) и для однослойной ограждающей конструкции вычисляется как:

$$\tau_o = D^{-1} \delta^2, \quad (11)$$

где  $\delta$  – толщина ограждающей конструкции, м.

В многослойных конструкциях, включая светопрозрачные, постоянная времени, аналогичная  $\tau_o$ , простым аналитическим расчетом вычислена быть не может.

### 2. Характерный масштаб времени $\tau_{C-R}$

Данный масштаб времени ранее нигде не использовался. В настоящей работе он введен для ограждающих конструкций с изменяющимися по толщине коэффициентом теплопроводности и удельной теплоемкостью (частным случаем являются многослойные ограждающие конструкции, включая стеклопакеты). Он определяется по стационарному распределению

температуры и распределению тепловой энергии внутри конструкции, возникающим в новом стационарном состоянии, вызванным температурным возмущением, и его сравнением с аналогичным состоянием до температурного воздействия. Стационарное распределение температуры внутри конструкции  $\bar{T}(x)$  может быть рассчитано стандартными методами (например, СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий») с использованием величины температуры внутреннего  $T_{in}$  и наружного  $T_{out}$  воздуха, коэффициентов теплоотдачи  $\alpha_{in}$  и  $\alpha_{out}$ , а также распределения коэффициента теплопроводности  $\lambda(x)$  по толщине. Также могут быть рассчитаны стационарные величины температуры на внутренней и наружной поверхностях ограждающей конструкции  $T_1$  и  $T_2$  (рис. 1). В этом случае время накопления (потери) тепловой энергии в сечении конструкции с координатой  $x$  при переходе к новому стационарному состоянию будет определяться удельной теплоемкостью  $C(x)$  и сопротивлением теплопередаче для прохождения теплового потока от данного сечения к наружной поверхности ограждающей конструкции. В итоге для конструкции в целом можно записать:

$$\tau_{C-R} = \frac{\int_0^{\delta} C(x)\Delta T(x)r(x)dx}{T_{in}-T_{out}}, \quad (12)$$

где

$$\Delta T(x) = T_{in} - \bar{T}(x); \quad (13)$$

$$r(x) = \frac{\bar{T}(x) - T_{out}}{J_o}, \quad (14)$$

где  $J_o$  – стационарный тепловой поток через ограждающую конструкцию.

Для упрощения вычислений для многослойных конструкций вместо уравнения (12) можно записать оценочное выражение, ограничиваясь теплопереносом от середины каждого слоя. В этом случае процедуры интегрирования не требуется и вместо (12) записывается относительно простая формула в виде суммы по слоям конструкции:

$$\tau_{C-R} \approx \frac{\sum_i C_i \delta_i \Delta T_i R_i}{T_{in} - T_{out}}, \quad (15)$$

где  $\delta_i$  – толщина  $i$ -го слоя;  $R_i$  – сопротивление теплопередаче от середины  $i$ -го слоя наружному воздуху;  $\Delta T_i = T_{in} - \hat{T}_i$ , где  $\hat{T}_i$  – средняя температура слоя в стационарном состоянии.

Ниже в табл. 2 приведены результаты расчета рассмотренных выше характеристических времен для различных ограждающих конструкций, представленных в табл. 1, а в табл. 3 и 4 приведены расчеты времени тепловой инерции  $\tau_{90}$  и задержки  $\delta t$  с использованием постоянных времени  $\tau_j$ ,  $\tau_U$ ,  $\tau_o$  и  $\tau_{C-R}$ . В табл. 2 приведены также величины сопротивления теплопередаче указанных конструкций  $R_o$  ( $M^2 \cdot ^\circ C$ )/Вт.

Как видно из табл. 2, время тепловой инерции  $\tau_{90}$  для рассмотренных типов ограждающих конструкций может составлять от десятков минут (стеклопакеты) до 100 и более часов. Самой высокой инерционностью 121,7 ч среди рассмотренных вариантов обладает конструкция Типа-6 (несущая стена с утеплением наружной и внутренней поверхностей). И это при том, что, как и материалы утеплителей, так и материалы несущих конструкций имеют коэффициент температуропроводности  $D$  одного порядка величины (табл. 1). Примечательным является то, что чистый эффективный утеплитель без дополнительной теплоинерционной несущей конструкции, например сэндвич-панели, имеет значительно более низкую инерционность, составляющую время всего 2,9 ч (конструкция Типа-3). Малая инерционность такой конструкции в первую очередь связана с ее малой толщиной и малой удельной теплоемкостью. Если сравнивать ограждающие конструкции по местоположению утеплителя относительно наружной поверхности, то более инерционными являются конструкции, в которых утеплитель не вынесен наружу, а самими инерционными являются конструкции с внутренним утеплением.

Стеновые конструкции могут обладать временем задержки  $\delta t$  на уровне нескольких часов, тогда как у

Таблица 2  
Table 2

Характерные времена нестационарного теплопереноса в ограждающих конструкциях  
Characteristic times of non-stationary heat transfer in enclosing structures

Тип констр.	$R_o, M^2 \cdot ^\circ C/Вт$	$\delta t, ч/мин$	$\tau_{90}, ч/мин$	$\tau_U, ч/мин$	$\tau_j, ч/мин$	$\tau_o, ч/мин$	$\tau_{C-R}, ч/мин$
1	0,78	6,5 ч	86,6 ч	19,4 ч	23,8 ч	152 ч	47,3 ч
2	1,12	2,4 ч	30 ч	6,5 ч	8,2 ч	60,3 ч	17,4 ч
3	3,6	0,26 ч	2,9 ч	0,6 ч	0,8 ч	7,1 ч	1,9 ч
4	3,4	3,1 ч	54,8 ч	13,5 ч	19,9 ч	–	28,5 ч
5	3,4	4,6 ч	65,2 ч	10,2 ч	10,9 ч	–	19,4 ч
6	2,3	1,3 ч	121,7 ч	37,9 ч	39,7 ч	–	42 ч
7	2,3	3,6 ч	31,9 ч	4,6 ч	8,7 ч	–	16,9 ч
8	0,36	1,5 мин	51,4 мин	10,6 мин	14,6 мин	–	25,5 мин
9	1,76	6,4 мин	2,6 ч	15,7 мин	47,3 мин	–	83,3 мин

Таблица 3  
Table 3Время тепловой инерции  $\tau_{90}$  по отношению к различным характеристическим масштабам времени  
The time of thermal inertia  $\tau_{90}$  in relation to to different characteristic time scales

$k_i$	Тип конструкции								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$k_1 = \tau_{90} / \tau_U$	4,47	4,6	4,83	4,05	6,41	3,21	6,99	4,87	9,98
$k_2 = \tau_{90} / \tau_j$	3,64	3,66	3,69	2,75	5,97	3,07	3,67	3,52	3,3
$k_3 = \tau_{90} / \tau_o$	0,57	0,5	0,41	–	–	–	–	–	–
$k_4 = \tau_{90} / \tau_{C-R}$	1,83	1,72	1,56	1,92	3,36	2,9	1,89	2,02	1,88

Таблица 4  
Table 4Задержка  $\delta t$  по отношению к различным характеристическим масштабам времени  
Delay  $\delta t$  with respect to different characteristic time scales

	Тип конструкции								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\delta t / \tau_{U0}$	0,34	0,37	0,34	0,23	0,45	0,03	0,79	0,14	0,41
$\delta t / \tau_{j0}$	0,27	0,3	0,27	0,16	0,42	0,03	0,41	0,1	0,14
$\delta t / \tau_o$	0,04	0,04	0,04	–	–	–	–	–	–
$\delta t / \tau_{C-R}$	0,14	0,14	0,14	0,11	0,24	0,03	0,21	0,06	0,08

светопрозрачных (стеклопакетов) это время составляет всего несколько минут и его практически можно не учитывать при теплофизических измерениях. Самое высокое время задержки у конструкции Типа-1 (кирпичная стена), а самое низкое – 0,26 ч – среди стеновых конструкций у стены из чистого утеплителя (конструкция Типа-3). Примечательно, что среди рассмотренных вариантов у конструкции Типа-6 (конструкция типа утеплитель–бетон–утеплитель) самая большая инерционность, но почти самое низкое время задержки (1,3 ч).

В табл. 3 приведены данные, показывающие, каким образом может быть рассчитано время тепловой инерции  $\tau_{90}$ , используя набор характеристических времен, приведенных в табл. 2. Первые две строки показывают расчет этого времени на основе постоянных времени  $\tau_U$  и  $\tau_j$ , что подразумевает численное решение задачи для нестационарного теплопереноса и не всегда является удобным и доступным к применению, а последние две строки соответствуют расчету на основе характерных масштабов времен  $\tau_o$  и  $\tau_{C-R}$ , которые достаточно просто определяются по формулам (11) и (12).

Как видно из таблицы, в однослойных конструкциях не имеет принципиального значения, какое характерное время используется для оценки времени тепловой инерции  $\tau_{90}$ . Для разных типов ограждающих конструкций, несмотря на сильное различие величин приведенного сопротивления теплопередаче, результат примерно одинаков. Например, при использовании постоянной времени  $\tau_o$ , которую проще всего рассчитать, время тепловой инерции может быть вычислено как:

$$\tau_{90} = 0,49\tau_o \pm 20\%, \quad (16)$$

Но более точные результаты будут получены, если использовать характерный масштаб времени  $\tau_{C-R}$ . В этом случае:

$$\tau_{90} = 1,7\tau_{C-R} \pm 10\%. \quad (17)$$

Для двухслойных ограждающих конструкций также может быть использована формула (17) (постоянная времени  $\tau_o$  для многослойных конструкций неприемима), но ее точность оказывается ниже:

$$\tau_{90} = 1,7\tau_{C-R} \pm 15\%. \quad (18)$$

Эта формула справедлива для ограждающих конструкций, не имеющих утеплителя внутри помещения. Если утеплитель установлен внутри (конструкция Типа-5), то расчеты тепловой инерции следует проводить численным решением задачи теплопереноса. Здесь следует отметить, что двухслойные ограждающие конструкции с утеплением внутреннего слоя на практике почти не используются.

Для трехслойных ограждающих конструкций, не имеющих расположенного в помещении утепляющего слоя, и для стеклопакетов также может быть использована формула (18).

В табл. 4 приведены данные, показывающие, каким образом, используя набор характерных масштабов времен, может быть рассчитана задержка по времени  $\delta t$ . Для однослойных конструкций эту задержку с высокой точностью можно определить как:

$$\delta t = 0,04\tau_o, \quad (19)$$

или:

$$\delta t = 0,14 \tau_{C-R} \quad (20)$$

Для двухслойных конструкций с наружным утеплением также может быть использована эта формула, но уже с погрешностью до 30%. Для трехслойных, не имеющих внутреннего утепления, погрешность в (19) может достигать 35%. Но для стеклопакетов эта погрешность может достигать 50% и более. Однако для стеклопакетов  $\delta t$  настолько мала (составляет менее 10 мин), что точность ее определения часто не имеет принципиального значения.

В заключение скажем несколько слов о релаксации температуры  $T_w$  на внутренней поверхности ограждающих конструкций при рассматриваемом температурном воздействии на внешней стороне. Соответствующие результаты расчетов приведены на рис. 5 для ограждающих конструкций Типов 3–7 (имеют приведенное сопротивление теплопередаче  $R_o > 2$ ). Данные результаты важны для тепловизионных обследований ограждающих конструкций.

При оценке результатов необходимо анализировать периоды времени, за которое температура приближается к своему стационарному значению с определенной абсолютной точностью. Точность порядка  $0,1^\circ\text{C}$  соответствует чувствительности тепловизора для бюджетной тепловизионной техники. Для тепловизионной техники более высокого класса чувствительность может составить  $0,05^\circ\text{C}$  и менее.

Как следует из приведенных графиков, соотношения между периодами установления изменения температуры для различных конструкций соответствуют времени тепловой инерции  $\tau_{90}$ , приведенному в табл. 2. Для всех конструкций имеет место задержка начала изменения температуры, которая практически совпадает с величиной задержки  $\delta t$ .

Исследования показали, что для теплопроводных включений в ограждающей конструкции (мостиков холода) температурная инерционность может составлять значительное время. Например, если мостик холода выполнен из арматурной стали, то время температурной инерции составляет величину порядка 20 ч и более.

Как было указано ранее, приведенные результаты получены для сравнительно высокого изменения температуры наружного воздуха. При изменении величины температурного воздействия (например, при его уменьшении) все постоянные времена, характеризующие приведенные на рис. 5 графические зависимости, остаются неизменными. Меняется только величина изменения температуры  $T_w$ . Это означает то, что при сравнительно невысоких температурных воздействиях область «применимости» тепловизионной съемки расширяется и в отдельных случаях она может проводиться, несмотря на нестационарность теплопереноса в ограждающей конструкции.

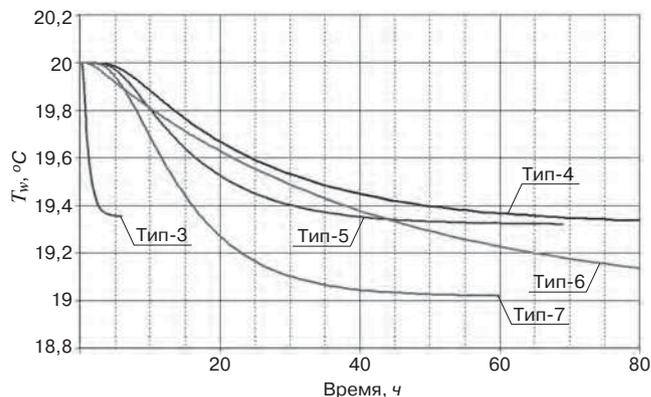


Рис. 5. Изменение во времени температуры внутренней поверхности  $T_w$  для ограждающих конструкций Типов 3–7 при изменении температуры наружного воздуха на  $20^\circ\text{C}$

Fig. 5. Time change in the temperature of the inner surface  $T_w$  for enclosing structures of Types 3–7 when the outdoor air temperature changes by  $20^\circ\text{C}$

### Выводы

В проведенных исследованиях получены следующие результаты, которые могут быть использованы при оценках параметров нестационарных процессов, вызванных тепловыми воздействиями на наружную часть ограждающей конструкции.

Установлено, что при наружном тепловом воздействии на ограждающую конструкцию существует период времени, в течение которого тепловой поток и температура на внутренней поверхности не претерпевают изменений во времени (задержка). Величина задержки для большинства утепленных стеновых конструкций составляет несколько часов. Для стеновых конструкций из эффективного утеплителя (например, сэндвич-панели) эта задержка минимальна и составляет период времени менее часа. Для светопрозрачных конструкций задержка составляет несколько минут и может не учитываться при обработке результатов теплофизических обследований.

Показано, что минимальным временем тепловой инерции на уровне нескольких часов и ниже обладают светопрозрачные конструкции, а также ограждающие конструкции, выполненные из эффективного утеплителя. Другие стеновые конструкции обладают тепловой инерцией от десятков часов до сотни и более. Наибольшей тепловой инерцией обладают многослойные конструкции с утепляющим слоем внутри помещения.

Тепловая инерция ограждающих конструкций и время задержки могут быть определены не прибегая к сложным математическим расчетам, с использованием одного из двух масштабов характерного времени нестационарного теплопереноса. Более точные расчеты дает масштаб времени, получаемый по стационарному распределению температуры и внутренней тепловой энергии, достигаемым за период релаксации теплового воздействия. Для расчетов этого мас-

штаба времени можно использовать формулы (12) или (15). Для однослойных ограждающих конструкций существует более простая, но несколько менее точная оценка масштаба характеристического времени (11).

Расчетно-теоретические исследования позволили установить характер изменения температуры внутренних поверхностей рассмотренных ограждающих конструкций. Данные результаты могут быть использованы для установления периодов времени проведения тепловизионных обследований ограждающих

конструкций в нестационарных условиях. Показано, что при сравнительно невысоких температурных воздействиях тепловизионные обследования могут проводиться, несмотря на нестационарность теплопереноса в ограждающей конструкции.

Часть материалов, представленных в данной статье, использована при пересмотре положений ГОСТ Р 54852–2011 «Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций».

### Список литературы

1. Салов А.С., Гайнанова Э.С. Особенности мониторинга и проведения обследования теплотехнического состояния строительных конструкций // *Вестник Евразийской науки*. 2019. № 1.
2. Комов Е.П., Лебедев О.В., Поздняк В.С. и др. Практика применения теплового неразрушающего контроля при энергетических обследованиях многоквартирных жилых домов. Магнитогорск: ООО «ВЕЛД», 2014. 40 с.
3. Karpov D., Sinitsyn A. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 161. 01040. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040>
4. Apostolska R. Measurement of heat-flux of new type facade walls // *Sustainability*. 2016. Vol. 8 (10). Pp. 1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8101031>
5. Jack Hulme, Sean Doran BRE. In-situ measurements of wall U-values in English housing. 2014. 76 p.
6. Li F.G.N., Smith A.Z.P., Biddulph P. et al. Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions. *Building Research & Information* 2015. Vol. 43, pp. 238–252.
7. Дыбок В.В., Кямьяра А.Р., Лазуренко Н.В. Тепловая диагностика ограждающих конструкций зданий и сооружений в натуральных условиях // *Технико-технологические проблемы сервиса*. 2011. № 3 (17). С. 14–19.
8. Данилевский Л.Н., Данилевский С.Л. Определение теплотехнических характеристик и энергетическая классификация эксплуатируемых жилых зданий // *БСТ*. 2016. № 6. С. 45–47.
9. Лазуренко Н.В., Кямьяра А.Р. Контроль качества теплозащиты зданий с помощью контактного и бесконтактного методов исследования // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2007. № 44. С. 30–35.
10. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. О теплотехнической однородности двухслойной стеновой конструкции // *Энергосбережение*. 2014. № 7. С. 58–63.

### References

1. Salov A.S., Gajnanova E.S. Features of monitoring and inspection of the thermal state of building structures. *Vestnik Evrazijskoj nauki*. 2019. No. 1. (In Russian).
2. Komov E.P., Lebedev O.V., Pozdnyak V.S. Praktika primeneniya teplovogo nerazrushayushchego kontrolya pri energeticheskikh obsledovaniyah mnogokvartirnyh zhilyh domov. Uchebno-metodicheskoe posobie [The practice of using thermal non-destructive testing in energy inspections of apartment buildings. Study guide]. Magnitogorsk: VELD. 2014. 40 p.
3. Karpov D., Sinitsyn A. Algorithm for integrated non-destructive diagnostics of technical condition of structures of buildings and constructions using the thermogram analysis. *E3S Web of Conferences*. 2020. Vol. 161. 01040. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016101040>
4. Apostolska R. Measurement of Heat-Flux of New Type Facade Walls. *Sustainability*. 2016. Vol. 8 (10), pp. 1031. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8101031>
5. Jack Hulme, Sean Doran BRE. In-situ measurements of wall U-values in English housing. 2014. 76 p.
6. Li F.G.N., Smith A.Z.P., Biddulph P. et al. Solid-wall U-values: heat flux measurements compared with standard assumptions. *Building Research & Information*. 2015. Vol. 43, pp. 238–252.
7. Dybok V.V., Kyamyarya A.R., Lazurenko N.V. Thermal diagnostics of building envelopes and structures in natural conditions. *Tekhniko-tekhnologicheskie problemy servisa*. 2011. No. 3 (17), pp. 14–19. (In Russian).
8. Danilevskij L.N., Danilevskij S.L. Determination of thermal characteristics and energy classification of operated residential buildings. *Byulleten' stroitel'noj tekhniki (BST)*. 2016. No. 6, pp. 45–47. (In Russian).
9. Lazurenko N.V., Kyamyarya, A.R. Quality control of thermal protection of buildings using contact and non-contact research methods. *Nauchno-tekhnicheskij vestnik informacionnyh tekhnologij, mekhaniki i optiki*. 2007. No. 44, pp. 30–35. (In Russian).
10. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. On the thermotechnical homogeneity of a two-layer wall structure. *Energoberezhenie*. 2014. No. 7, pp. 58–63. (In Russian).

11. Корниенко С.В. Комплексная оценка теплозащиты ограждающих конструкций оболочки здания // *Инженерно-строительный журнал*. 2012. № 7 (33). С. 43–49.
12. Papadopoulos, A.M., Konstantinidou, C.V. Thermal insulation and thermal storage in a building's envelope: A question of location. *Build. Environ.* 2008. Vol. 436, pp. 166–175.
13. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Влияние погрешностей задания внешних рабочих параметров на точность измерения температуры инфракрасными приборами // *Измерительная техника*. 2016. № 1. С. 60–64.
14. Левин Е.В., Окунев А.Ю. Исследование точности измерения температуры на основе анализа энергетического баланса на приемнике излучения ИК прибора // *Измерительная техника*. 2015. № 5. С. 48–52.
15. Chen G., Liu X., Chen Y., Guo X., Tan Y. Coupled heat and moisture transfer in two common walls. *Lecture notes in electrical engineering*. 2014. Vol. 3, pp. 335–342.
16. Горшков А.С., Рымкевич П.П., Ватин Н.И. Моделирование процессов нестационарного переноса тепла в стеновых конструкциях из газобетонных блоков // *Инженерно-строительный журнал*. 2014. № 8. С. 38–66.
17. Тарасова В.В. Математическое моделирование нестационарных тепловых процессов в ограждающих конструкциях зданий // *Современные наукоемкие технологии*. 2016. № 8–2. С. 265–269.
18. Табунщиков, Ю.А., Бородач М.М. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий. М.: АВОК-ПРЕСС, 2002. 194 с.
19. Иванов В.В., Карасева Л.В., Тихомиров С.А. Нестационарный теплоперенос в многослойных строительных конструкциях // *Известия вузов. Строительство*. 2001. № 9–10. С. 7–10.
20. Иванов В.В., Карасева Л.В., Волочай В.В., Тихомиров С.А. Влияние утеплителя на динамику тепловых режимов строительных конструкций // *Жилищное строительство*. 2002. № 5. С. 15–16.
21. Иванов В.В., Карасева Л.В., Тихомиров С.А. Моделирование процессов теплопереноса в многослойных ограждающих конструкциях. *Третья Российская национальная конференция по теплообмену. Т. 7. Теплопроводность и теплоизоляция*. М., 2002. С. 131–134.
22. Горшков А.С. Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций зданий // *Энергосбережение*. 2017. № 7. С. 52–56.
23. Du Fort E.C., Frankel S. P. Stability conditions in the numerical treatment of parabolic differential equations. *Mathematical tables and other aids to computation*. 1953. Vol. 7. No. 43, pp. 135–152. <https://doi.org/10.2307/2002754>
11. Kornienko S.V. Comprehensive assessment of thermal protection of the building envelope envelope. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2012. No. 7 (33), pp. 43–49. (In Russian).
12. Papadopoulos A.M., Konstantinidou C.V. Thermal insulation and thermal storage in a building's envelope: A question of location. *Building Environ.* 2008. Vol. 43, pp. 166–175.
13. Okunev A.YU. Influence of errors in setting external operating parameters on the accuracy of temperature measurement with infrared devices. *Izmeritel'naya tekhnika*. 2016. No. 1, pp. 60–64. (In Russian).
14. Levin E.V., Okunev A.YU. Investigation of the accuracy of temperature measurement based on the analysis of the energy balance at the receiver of the IR device. *Izmeritel'naya Tekhnika*. 2015. No. 5, pp. 48–52. (In Russian).
15. Chen G., Liu X., Chen Y., Guo X., Tan Y. Coupled heat and moisture transfer in two common walls. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2014. Vol. 3, pp. 335–342.
16. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Modeling the processes of unsteady heat transfer in wall structures made of aerated concrete blocks. *Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal*. 2014. No. 8, pp. 38–66. (In Russian).
17. Tarasova V.V. Mathematical modeling of non-stationary thermal processes in the building envelope. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii*. 2016. No. 8–2, pp. 265–269. (In Russian).
18. Tabunshchikov YU.A., Borodach M.M. Matematicheskoe modelirovanie i optimizaciya teplovoj effektivnosti zdaniy [Mathematical modeling and optimization of thermal efficiency of buildings]. Moscow: AVOK-PRESS. 2002. 194 p.
19. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Tihomirov S.A. Non-stationary heat transfer in multilayer building structures. *Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo*. 2001. No. 9–10, pp. 7–10. (In Russian).
20. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Volochaj V.V., Tihomirov S.A. The influence of insulation on the dynamics of thermal regimes of building structures. *Zhilishchnoe stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2002. No. 5, pp. 15–16. (In Russian).
21. Ivanov V.V., Karaseva L.V., Tihomirov S.A. Modeling heat transfer processes in multilayer enclosing structures. *Third Russian National Conference on Heat Transfer. Vol. 7. Thermal conductivity and thermal insulation*. Moscow. 2002, pp. 131–134. (In Russian).
22. Gorshkov A.S. Thermal characteristics of building envelopes. *Energoberezhenie*. 2017. No. 7, pp. 52–56. (In Russian).
23. Du Fort E.C., Frankel S.P. Stability conditions in the numerical treatment of parabolic differential equations. *Mathematical tables and other aids to computation*. 1953. Vol. 7. No. 43, pp. 135–152. <https://doi.org/10.2307/2002754>

УДК 624.15:693.547

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-30-36>

И.В. БЕССОНОВ<sup>1</sup>, канд. техн. наук (bessonoviv@mail.ru);  
А.Д. ЖУКОВ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук (lj211@yandex.ru);  
А.Н. ШИЛОВ<sup>3</sup>, техн. специалист (a.shilov@penoplex.ru);  
И.С. ГОВРЯКОВ<sup>1,2</sup>, техник, студент (govr190@mail.ru)

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>3</sup> ООО «ПЕНОПЛЭКС» (191014, г. Санкт-Петербург, Саперный пер., 1, литер «А»)

## Системы «теплых» фундаментов

Приведены результаты исследований, актуальность которых обусловлена формированием системы изоляции фундамента, повышающей технологичность строительных работ за счет применения оставляемой опалубки и возможностью проведения работ в холодный период за счет использования эффекта термосного выдерживания, а также снижения затрат при эксплуатации здания за счет снижения потерь тепла и защиты конструктивных элементов фундамента от воздействия грунтовых вод. Основным элементом разработанной системы являются плиты из экструдированного пенополистирола (XPS-плит). Цель исследований – разработка и реализация процесса возведения ленточных фундаментов с применением технологии несъемной опалубки из XPS-плит и универсальных полимерных стяжек, а также проверка возможности зимнего бетонирования в условиях «термоса». Теплотехнический расчет, проведенный для температуры среды минус 10°C, показал, что за 11 с небольшим суток бетон, твердеющий в условиях «термоса», набирает более 70% проектной прочности. Этот факт вполне удовлетворяет условиям твердения бетона в несъемной опалубке из экструзионного пенополистирола. Приведены рекомендации по монтажу системы оставляемой опалубки на основе проанализированного опыта, приобретенного в построчных условиях.

**Ключевые слова:** фундамент, твердение бетона, термосное выдерживание, экструдированный пенополистирол, теплоизоляция, энергетическая эффективность.

**Для цитирования:** Бессонов И.В., Жуков А.Д., Шилов А.Н., Говряков И.С. Системы «теплых» фундаментов // Жилищное строительство. 2021. № 7. С. 30–36. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-30-36>

I.V. BESSONOV<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (bessonoviv@mail.ru);  
A.D. ZHUKOV<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (lj211@yandex.ru);  
A.N. SHILOV<sup>3</sup>, Technical Specialist (a.shilov@penoplex.ru);  
I.S. GOVRYAKOV<sup>1,2</sup>, Technician, Student (govr190@mail.ru)

<sup>1</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivnyy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavskoye Highway, Moscow, 1293337, Russian Federation)

<sup>3</sup> «PENOPLEX» LLC (Saperny Lane, 1A, Saint-Petersburg, 191014, Russian Federation)

### Systems of “Warm” Foundations

The results of research are presented, the relevance of which is due to the formation of a foundation insulation system that increases the manufacturability of construction work due to the use of abandoned formwork and the possibility of carrying out work in the cold period due to the use of the thermos holding effect, as well as reducing costs during the operation of the building by reducing heat losses and protecting structural elements of the foundation from the impact of groundwater. The main element of the developed system is the plates made of extruded polystyrene foam (XPS-plates). The purpose of the research is to develop and implement the process of constructing strip foundations using the technology of fixed formwork made of XPS-plates and universal polymer screeds, as well as to test the possibility of winter concreting in the conditions of “thermos”. The thermotechnical calculation carried out for the medium temperature of minus 10°C showed that in a little over 11 days, concrete hardening in the “thermos” conditions gains more than 70% of the design strength. This fact fully satisfies the conditions of concrete hardening in a non-removable formwork made of extruded polystyrene foam. Recommendations for the installation of a system of abandoned formwork are given based on the analysis of experience gained in construction conditions.

**Keywords:** foundation, concrete hardening, thermos holding, extruded polystyrene foam, thermal insulation, energy efficiency.

**For citation:** Bessonov I.V., Zhukov A.D., Shilov A.N., Govryakov I.S. Systems of “warm” foundations. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 30–36. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-30-36>

Потери тепла через подземную часть здания составляют до 20% общих теплопотерь. Совершенство системы теплоизоляции позволяет значительно снизить неоправданные потери тепла в отапливаемых подвалах. В неотапливаемых подвалах можно круглый год поддерживать постоянную температуру 5–10°C, а также исключить образование конденсата, появление сырости и развитие плесени на внутренних поверхностях заглубленного помещения [1–3].

Одним из основных факторов, влияющих на долговечность здания, является воздействие воды. Вода проникает в конструкцию и вызывает разрушение бетона. С собой она приносит различные агрессивные вещества, ускоряющие процессы коррозии. Если вода, попавшая в конструкцию, замерзает, она разрушает бетон. Кроме того, вода внутри помещения нарушает его нормальную эксплуатацию. Все это приводит к быстрому выводу здания из строя [4–6]. Таким образом, разработка систем изоляции фундаментов и конструкций периметра зданий, контактирующих с грунтом на основе материалов, имеющих низкую паро- и водонепроницаемость и стойких к воздействию агрессивных сред, позволяет обеспечивать как нормативные показатели теплозащиты, так и долговечность конструкций, что является ощутимым вкладом, в том числе и в сохранение и улучшение экологического баланса застраиваемых территорий.

Уменьшить расходы на ремонт сооружений можно, применив при строительстве здания современные и долговечные гидроизоляционные, защитные и теплоизоляционные материалы. Оптимальным материалом изоляции периметра здания и изоляции фундаментов являются изделия на основе вспененных олефинов и полистирола, и в частности плитный экструзионный пенополистирол (XPS-плит). Эти изделия имеют относительно высокие прочностные характеристики, низкую теплопроводность, паро- и воздухопроницаемость, а также высокую стойкость к таким агрессивным средам, как грунтовые воды с растворенными в них минеральными веществами [7–9].

Собственно фундаменты теплоизолируют не часто, а значит этот путь потерь тепла сохраняется на весь период эксплуатации здания. Существуют методы строительства, основанные на технологиях несъемной опалубки, которые применимы и к фундаментным системам, в том числе ленточным фундаментам. Использование теплых несъемных опалубок позволяет решать проблему возведения строительных конструкций и в холодный период за счет реализации «термосных» технологий [10–12].

Цель исследований, изложенных в статье, – разработка и реализация процесса возведения ленточных фундаментов с применением технологии несъемной опалубки из XPS-плит и универсальных полимерных стяжек, а также проверка возможности зимнего бетонирования в условиях «термоса».

### Методы и материалы

В разработанной системе изоляции XPS-плиты, специальные для фундамента или общего назначения, используются в качестве ограждающих элементов несъемной опалубки, компонента термосной оболочки и в дальнейшем формируют теплоизоляционный слой строительных конструкций.

Универсальная стяжка с фиксаторами арматуры и удлинителем (рис. 1, а), служит для создания необходимой толщины возводимой конструкции и обеспечения ее жесткости. Стальная горячекатаная арматура (рис. 1, б) формирует каркас фундамента, а в качестве альтернативы может применяться композитная стеклопластиковая арматура. Для крепления арматурных каркасов используется вязальная проволока. Для закрепления дна опалубки и угловых элементов используется тарельчатый винтовой полимерный дюбель. Оцинкованную гвоздевую пластину применяют для скрепления шва между XPS-плитами при однослойных стенках опалубки. Склеивание XPS-плит и омоноличивание швов между ними осуществляют специальным клеем-пенной.

Бетонная смесь должна соответствовать требованиям ГОСТ 26633–2015 «Бетоны тяжелые и мелкозер-



Рис. 1. Монтажные элементы: а – универсальная стяжка с фиксаторами арматуры и удлинителем; б – стальная горячекатаная арматура (в качестве альтернативы); с – оцинкованная гвоздевая пластина для скрепления шва между XPS-плитами

Fig. 1. Mounting elements: a – universal tie with reinforcement clamps and extension; b – hot-rolled steel reinforcement (alternatively); c – galvanized nail plate for fastening the seam between XPS plates

нистые. Технические условия». Плотность тяжелого бетона составляет 2200–2400 кг/м<sup>3</sup>; марка портланд-цемента не менее М400. Возможно использование в составе смеси молотых отходов бетона, в том числе получаемого в результате реновации жилья, а также модифицирующих добавок [13–15].

Разработка многофункциональной системы оставляемой опалубки осуществлялась в соответствии с рекомендациями действующих нормативных документов: СП 45.13330.2017; СП 50.13330.2012; СП 55.13330.2011, СП 70.13330.2012. Согласно СП 70.13330.2012, прочность бетона монолитных конструкций к моменту замерзания должна быть не менее 50% проектной прочности для классов В7,5–В10; не менее 40% – для классов В12,2–В25 и не менее 30% – для классов В30 и выше [16–18].

Особенности зимнего «термосного» бетонирования рассматривали, опираясь на следующие постулаты. Во-первых, вода в твердеющем бетоне не должна замерзать. Для твердения бетона необходимо наличие воды в жидком, химически активном состоянии. *Замерзание воды в бетоне прекращает процесс твердения.* Во-вторых, скорость набора бетоном прочности зависит от температуры. Чем выше температура твердения, тем быстрее набирает бетон требуемую прочность.

При традиционном термосе бетонная смесь готовится на горячей воде и отогретых и разогретых заполнителях. Температура бетонной смеси на выходе может составлять 30–40°C. Имеющая такую температуру смесь транспортируется и укладывается в опалубку. В процессе транспортных операций, в зависимости от их продолжительности и температуры окружающей среды, смесь теряет какое-то количество тепла. Дополнительные потери происходят в результате затрат тепла на отопление опалубки и арматуры.

Целесообразность применения термосного выдерживания бетона определяется массивностью конструкции, выражающейся через модуль поверхности  $M_{\Pi}$ , активностью и тепловыделением цемента, начальной температурой уже уложенного бетона  $T_{н}$  и температурой наружного воздуха  $T_{нв}$ , эффективностью изоляционной оболочки «термоса», скоростью ветра и возможностью получения заданной прочности в установленные сроки.

Продолжительность остывания бетона  $\tau$ , ч, в зависимости от начальной температуры  $T_{н}$  для конструкций с модулем поверхности  $M_{\Pi}=4–10 \text{ м}^{-1}$  до конечной температуры  $T_{к}$  определяют по формуле Б.Г. Скрамтаева:

$$\tau = \frac{c_6 \gamma_6 (T_{н} - T_{к}) + \Pi \times \mathcal{E}}{3,6K \times M_{\Pi} (T_{6, \text{cp}} - T_{нв})} \quad (1)$$

Коэффициент теплоотдачи опалубки:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} \quad (2)$$

Средняя температура бетона за время остывания определяется по формуле:

$$T_{6, \text{cp}} = T_{к} + \frac{T_{н} - T_{к}}{1,03 + 0,181 M_{\Pi} + 0,006 (T_{н} - T_{к})} \quad (3)$$

где  $c_6$  – удельная теплоемкость бетона, равная 1,05 кДж/(кг·°C);  $\gamma_6$  – средняя плотность тяжелого бетона 2200–2400 кг/м<sup>3</sup>;  $\Pi$  – расход цемента в бетоне, кг/м<sup>3</sup>;  $\mathcal{E}$  – тепловыделение (экзотермия) цемента (принимается 150 кДж/кг);  $\delta$ ,  $\lambda$  – толщина и теплопроводность изоляционной оболочки, соответственно 0,5 м и 0,034 Вт/(м·°C);  $M_{\Pi}$  – модуль поверхности;  $T_{нв}$  – температура наружного воздуха, принимается средней за время остывания (-10°C);  $T_{н}$  – начальная температура бетонной смеси, 35°C.

### Результаты

Перед началом строительства фундамента выполняют геологические исследования и проводят расчеты, по результатам которых определяется ширина ленточного фундамента (принимается 0,5 м) и глубина его заложения, а также проводится теплотехнический расчет системы изоляции.

В условиях «термосного» выдерживания подогретой бетонной смеси оставляемая опалубка установлена по вертикальным поверхностям при проектной ширине фундамента  $l=0,5$  м. Верх утепляется съемными изоляционными панелями, а низ контактирует с грунтом. С учетом того, что подогретая бетонная смесь контактирует с грунтом (холодным, но не определенной температуры, близкой к температуре окружающего воздуха) без изоляции через песчаную подушку, принимаем неучтенные потери, равные 30%. Следовательно, коэффициент теплоотдачи  $K=1,3 \cdot K'$  (м<sup>2</sup>·°C/Вт).

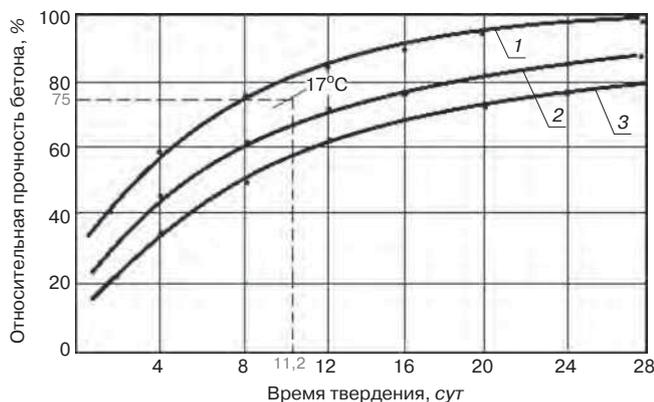
По нормативным требованиям к концу остывания (выходу на 0°C) бетон должен иметь прочность не менее 60% от марочной. В расчете определяем время остывания смеси до 0°C и прочность твердеющего бетона.

1. Рассчитываем модуль поверхности бетонированной конструкции:

$$M_{\Pi} = \frac{F}{V} = \frac{F}{F \cdot l/2} = \frac{2}{l} = \frac{2}{0,5} = 4 \text{ м}^{-1}.$$

2. Рассчитываем коэффициент теплопередачи ограждения.

Коэффициент теплоотдачи у поверхности боковой стенки фундамента  $\alpha=3,88$  Вт/(м<sup>2</sup>·°C). Коэффициент теплопроводности экструзионного пенополистиро-



**Рис. 2.** Рост относительной прочности бетона в зависимости от сроков и температуры твердения при температуре, °C: 1 – 20; 2 – 10; 3 – 5

**Fig. 2.** The growth of the relative strength of concrete depending on the time and temperature of hardening at a temperature, °C: 1 – 20; 2 – 10; 3 – 5

ла с учетом теплотехнической неоднородности конструкции принимаем  $\lambda=0,032 \cdot 1,04 = 0,033$  Вт/(м·°C):

$$K' = \frac{1}{\frac{1}{\alpha} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}} = \frac{1}{\frac{1}{3,88} + \frac{0,025}{0,033}} = 0,98 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C});$$

$$K = K' \cdot 1,3 = 0,98 \cdot 1,3 = 1,27 \text{ м}^2 \cdot \text{°C}/\text{Вт}.$$

3. Рассчитываем среднюю температуру бетона за период остывания:

$$T_{\text{б,ср}} = T_{\text{к}} + \frac{T_{\text{н}} - T_{\text{к}}}{1,03 + 0,181 M_{\text{п}} + 0,006(T_{\text{н}} - T_{\text{к}})} =$$

$$= 0 + \frac{35 - 0}{1,03 + 0,181 \cdot 4 + 0,006(35 - 0)} = \frac{35}{1,964} \approx 17,7^{\circ}\text{C}.$$

4. Рассчитываем продолжительность остывания бетона от 35 до 0°C:

$$\tau = \frac{c_{\text{б}} \gamma_{\text{б}} (T_{\text{н}} - T_{\text{к}}) + \Pi \times \mathcal{D}}{3,6 K \times M_{\text{п}} (T_{\text{б,ср}} - T_{\text{нв}})} = \frac{1,05 \cdot 2400(35 - 0) + 300 \cdot 150}{3,6 \cdot 1,3 \cdot 1,27 \cdot 4(17,7 - (-10))} =$$

$$= \frac{88200 + 45000}{495} = 269 \text{ ч}.$$

Или  $269/24 = 11,21$  сут.

За 11 с небольшим суток бетон, твердеющий при температуре 17°C, наберет более 70% проектной прочности (рис. 2). Этот факт удовлетворяет условиям твердения бетона в несъемной опалубке из экструзионного пенополистирола.

### Обсуждение

Технология работ по возведению ленточного фундамента в оставляемой опалубке включает следующие мероприятия: подготовку территории и земляные работы; сборку опалубочной системы; установку опалубки на подготовленное основание; заливку бетонной смеси и ее выдержку до достижения 60%



**Рис. 3.** Сборка несъемной опалубки  
**Fig. 3.** Assembly of permanent formwork



**Рис. 4.** Установка в проектное положение  
**Fig. 4.** Installation in design position

проектной прочности. В условиях отрицательной температуры дополнительно осуществляют подогрев бетонной смеси и изоляцию по верхней плоскости фундамента.

До начала устройства фундамента организуют отвод поверхностных вод от площадки; производят геодезическую разбивку осей и разметку положения фундаментов в соответствии с проектом, разметку под размещение дренажной системы и отмостки; устраивают подъездные пути.

В состав земляных работ входят удаление растительного слоя грунта, планировка территории, рытье котлована под фундамент здания и устройство разделительного слоя. Разделительный слой выполняется из синтетического геотекстильного полотна, укладываемого по дну и откосам котлована с перехлестом в местах стыков не менее 150 мм. Полотно позволяет отделить последующий амортизационный слой песка (песчаную подушку) или гравия от почвы.

Песчаная подушка под основание фундамента выполняет довольно важную функцию – выравнивание поверхности грунта. Это позволяет железобетонной конструкции, на которую возложена роль опоры дома, равномерно передавать нагрузку всего сооружения на грунт. В зависимости от веса сооружения и амплитуды колебания грунтов, возникающих в результате воздействия сил морозного пучения, песчаная подушка может иметь различную высоту (толщину); как правило, высота подушки находится в



**Рис. 5.** Укрепление угловых элементов опалубки  
**Fig. 5.** Reinforcement of corner formwork elements

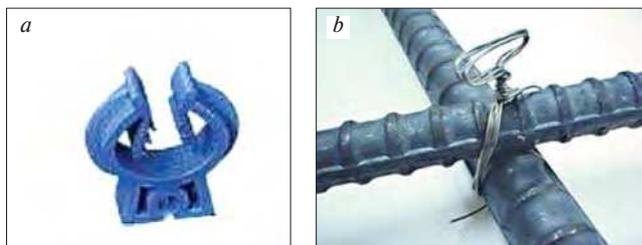


**Рис. 6.** Схема усиления T-образных элементов опалубки  
**Fig. 6.** Reinforcement scheme for T-shaped formwork elements

диапазоне от 200 до 600 мм. Устройство песчаной подушки производится послойно с уплотнением через каждые 100–150 мм.

Сборка несъемной опалубки включает разметку на XPS-листах для установки универсальной стяжки и формирование опалубочной системы (рис. 3). Вертикальные и горизонтальные элементы опалубки соединяют между собой при помощи универсальных стяжек, клея для экструдированного пенополистирола и винтового крепежа. При однослойной схеме опалубки во избежание утечки бетона через швы рекомендуется проклеивать их полиуретановым клеем-пеной. В случае, когда применяется двухслойная теплоизоляция, например 50+50 мм, следует предусмотреть закрепление XPS-плит вразбежку. Далее несъемную опалубку устанавливают в проектное положение (рис. 4).

Нижняя кромка несъемной опалубки фиксируется по горизонтали профилем или брусом в проектном положении. Также рекомендуется обратная засыпка траншеи при заглублении конструкции для дополнительной фиксации опалубки. Если ширина бетонного сердечника превышает минимальное расстояние между стяжками, то в углах опалубки (рис. 5) и при монтаже T-образных углов (рис. 6) устанавливают подпорки. Подпорки вбивают в грунт и обвязывают проволокой поверх опалубки.



**Рис. 7.** Соединение арматуры с помощью: а – фиксатора для горизонтальной арматуры; б – вязальной проволоки для соединения продольной и поперечной арматуры

**Fig. 7.** Reinforcement connection using: a – clamp for horizontal reinforcement; b – knitting wire for connecting longitudinal and transverse reinforcement



**Рис. 8.** Конструкция после заливки  
**Fig. 8.** Construction after pouring

В качестве рабочей арматуры используют как традиционную стальную горячекатаную арматуру, так и стеклопластиковую. Армирование бетонного сердечника производится в горизонтальной и вертикальной плоскостях. В качестве соединяющего элемента может выступать вязальная проволока или специальные фиксаторы (рис. 7).

По окончании армирования выполняются работы по подготовке к бетонированию, в ходе которых проводят контрольный обмер опалубки, проверку правильности вязки и армирования; осуществляют защиту выводов коммуникаций от попадания в них бетона.

Работы по укладке бетонной смеси производятся горизонтальными слоями по всей площади бетонизируемого участка. Выгружаемую бетонную смесь распределяют по форме опалубки совковыми лопатами, обеспечивая затекание смеси под арматуру и в труднодоступные места с применением глубинного вибратора. При этом все слои должны иметь одинаковую толщину, а работы вестись непрерывно в одном направлении с тщательным уплотнением (рис. 8). Время на распределение и укладку смеси в нормальных условиях не должно превышать одного часа.

За состоянием опалубки должно вестись непрерывное наблюдение в процессе бетонирования. В случае непредвиденных деформаций отдельных элементов опалубки или недопустимого

раскрытия щелей следует установить дополнительные крепления и исправлять деформированные места.

Особенно важен уход за бетоном в первые дни после его укладки. Уход за твердением бетона до момента передачи фундамента под монтаж ограждающих конструкций стен рекомендуется вести в течение трех дней после укладки смеси. Хождение людей по забетонированной поверхности, а также установка лесов и опалубки разрешаются не раньше того времени, когда бетон наберет прочность 1,5 МПа.

### Заключение

Разработаны проектные рекомендации по конструированию ленточных фундаментов в оставляемой опалубке на основе плитного экструзионного пенополистирола, рекомендации по монтажу этих систем, а также осуществлен теплотехнический рас-

чет термосного выдерживания и твердения бетонной смеси в оставляемой опалубке при отрицательной температуре наружного воздуха.

Система изоляции ленточных фундаментов, в том числе мелкого заложения с применением оставляемой опалубки, ориентирована на решение комплексной задачи повышения энергоэффективности строительных конструкций. В основе разработанной системы лежат следующие принципы. Во-первых, улучшение организации работ за счет использования оставляемой опалубки. Во-вторых, формирование изоляционной оболочки фундамента с целью снижения тепловых потерь через основание здания и защиту конструкций фундамента от замерзания и воздействия грунтовой влаги. В-третьих, реализация возможности круглогодичного строительства за счет применения термосного выдерживания бетонной смеси в условиях отрицательной наружной температуры.

### Список литературы

1. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded polyethylene application. IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Iss. 30, pp. 803-807. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.191>
2. Bobrov E., Pilipenko A., Zhukov A. System insulating shells and energy efficiency of buildings. *Web Conf. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Vol. 91. 02019 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102019>
3. Семенов В.С., Бессонов И.В., Тер-Закарян К.А., Жуков А.Д., Медникова Е.А. Энергосберегающие бесшовные системы изоляции каркасных зданий из вспененного полиэтилена // *Проблемы региональной энергетики*. 2020. № 4. DOI: 10.5281/zenodo.4018999
4. Жуков А.Д., Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Старостин А.В. Системы утепления зданий с применением пенополиэтилена // *Строительные материалы*. 2018. № 9. С. 58–61. DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61>.
5. Альмусаед А., Альмассад А., Аласади А. Аналитическая интерпретация концепций энергоэффективности в процессе проектирования жилья в условиях жаркого климата // *Строительный журнал*. 2019. № 21. С. 254–266.
6. Жуков А., Медведев А., Посеренин А., Ефимов Б. Экологическая и энергетическая эффективность изоляционных систем. *E3S Web of Conferences*. 2019. № 135 (ITESE-2019). 4 декабря 2019 г. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503070>

### References

1. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Semenov V.S. Insulation systems with the expanded polyethylene application. IFAC-PapersOnLine. 2018. Vol. 51. Iss. 30, pp. 803-807. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.11.191>
2. Bobrov E., Pilipenko A., Zhukov A. System insulating shells and energy efficiency of buildings. *Web Conf. Topical Problems of Architecture, Civil Engineering and Environmental Economics (TPACEE 2018)*. 2019. Vol. 91. 02019 DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20199102019>
3. Semenov V.S., Bessonov I.V., Ter-Zakaryan K.A., Zhukov A.D., Mednikova E. A. Energy-saving seamless insulation systems of frame buildings made of foamed polyethylene. *Problemy regional'noj energetiki*. 2020. No. 4. (In Russian). DOI: 10.5281/zenodo.4018999
4. Zhukov A.D., Ter-Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Starostin A.V. Systems of Construction Insulation with the Use of Foam Polyethylene. *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials]. 2018. No. 9, pp. 58–61. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2018-763-9-58-61>
5. Almusayed A., Almassad A., Alasadi A. Analytical interpretation of energy efficiency concepts in the process of housing design in a hot climate. *Stroitel'nyi zhurnal*. 2019. No. 21, pp. 254–266. (In Russian).
6. Zhukov A., Medvedev A., Poserenin A., Efimov B. Environmental and energy efficiency of insulation systems. *E3S Web of Conferences*. 2019. No. 135 (ITESE-2019). December 4, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201913503070>

7. Бауэр Э., Павон Э., Де Кастро Э.К., Баррейра Э. Анализ дефектов фасада здания с помощью инфракрасной термографии: лабораторные исследования // *Строительный журнал*. 2016. № 6. С. 93–104.
8. Умнякова Н. Особенности теплообмена в воздушных полостях вентилируемых фасадов при различной скорости ветра. *Достижения и тенденции в инженерных науках и технологиях. Материалы 2-й Международной конференции по инженерным наукам и технологиям*. 2016. 2017. С. 655–660.
9. Де Дир Р.Дж., Брагер Г.С. Тепловой комфорт в зданиях с естественной вентиляцией: изменения к стандарту ASHRAE 55 // *Энергетика и здания*. 2002. № 34 (6). С. 549–561.
10. Efimov B., Isachenko S., Kodzoev M-B, Dosanova G., Bobrova E. Dispersed architecture in concrete technology. E3S Web Conf. International Science Conference SPbWOSCE-2018 “Business Technologies for Sustainable Urban Development”. 2019. Vol. 110. 01032. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201911001032>
11. Теличенко В.И., Штоль Т.М., Феклин В.И. Технология возведения подземной части зданий и сооружений. М.: Стройиздат, 1990. 257 с.
12. Жуков А.Д.; Тер-Закарян К.А., Бессонов И.В., Семенов В.С., Зиновьева Е.А. Эффективные полы и кровли с применением пенополиэтилена // *Жилищное строительство*. 2020. № 7. С. 28–33. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-28-33>
13. Красновский Б.М. Индустриализация монолитного бетонирования в зимних условиях // *Механизация строительства*. 1985. № 4. С. 11–13.
14. Молодин В.В., Усинский Е.К. Зимнее бетонирование строительных конструкций жилых и гражданских зданий в монолитном исполнении // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2007. № 6. С. 51–60.
15. Мулин В.И. К расчету термосного выдерживания бетона // *Бетон и железобетон*. 1970. № 2. С. 34–37.
16. Писаренко Ж.В., Иванов Л.А., Ванг Ц. Нанотехнологии в строительстве: современное состояние и тенденции развития // *Нанотехнологии в строительстве*. 2020. Т. 12. № 4. С. 223–231. DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231)
17. Зубков В.И., Лагойда А.В. Прогнозирование прочности бетона при бетонировании в зимнее время // *Бетон и железобетон*. 1985. № 3. С. 18–20.
7. Bauer E., Pavon E., De Castro E.K., Barreira E. Analysis of building facade defects using infrared thermography: laboratory studies. *Stroitel'nyi zhurnal*. 2016. No. 6, pp. 93–104. (In Russian).
8. Umnyakova N. Features of heat exchange in the air cavities of ventilated facades at different wind speeds. *Achievements and trends in engineering sciences and Technologies II-Proceedings of the 2nd International Conference on Engineering Sciences and Technologies*. 2016. 2017, pp. 655–660. (In Russian).
9. De Dier R.J., Brager G.S. Thermal comfort in buildings with natural ventilation: changes to the ASHRAE 55 standard. *Energetika i zdaniya*. 2002. No. 34 (6), pp. 549–561. (In Russian).
10. Efimov B., Isachenko S., Kodzoev M-B, Dosanova G., Bobrova E. Dispersed architecture in concrete technology. E3S Web Conf. International Science Conference SPbWOSCE-2018 “Business Technologies for Sustainable Urban Development”. 2019. Vol. 110. 01032. <https://doi.org/10.1051/e3s-conf/201911001032>
11. Telichenko V.I., Stoll T.M., Feklin V.I. Tekhnologiya vozvedeniya podzemnoj chasti zdaniy i sooruzhenij [Technology of construction of the underground part of buildings and structures]. Moscow: Stroyizdat. 1990. 257 p.
12. Zhukov A.D., Ter Zakaryan K.A., Bessonov I.V., Semenov V.S., Zinovieva E.A. Effective floors and roofs using polyurethane foam. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2020. No. 7, pp. 28–33. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2020-7-28-33>
13. Krasnovsky B.M. Industrialization of monolithic concreting in winter conditions. *Mekhanizatsiya stroitel'stva*. 1985. No. 4, pp. 11–13. (In Russian).
14. Molodin V.V., Usinsky E.K. Winter concreting of construction structures of residential and civil buildings in monolithic execution. *Izvestiya vysshih uchebnykh zavedenij. Stroitel'stvo*. 2007. No. 6, pp. 51–60. (In Russian).
15. Mulin V.I. To the calculation of thermos holding of concrete. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1970. No. 2, pp. 34–37. (In Russian).
16. Pisarenko Zh.V., Ivanov L.A., Wang Ts. Nanotechnologies in construction: current state and development trends. *Nanotekhnologii v stroitel'stve*. 2020. Vol. 12, No. 4, pp. 223–231. (In Russian). DOI: [10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231](https://doi.org/10.15828/2075-8545-2020-12-4-223-231)
17. Zubkov V.I., Lagoida A.V. Forecasting the strength of concrete during concreting in winter. *Beton i zhelezobeton* [Concrete and Reinforced Concrete]. 1985. No. 3, pp. 18–20. (In Russian).

УДК 624.014.2

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-37-41>

В.И. РИМШИН<sup>1</sup>, д-р техн. наук, П.С. ТРУНТОВ<sup>1</sup>, магистрант (pavel\_truntov@mail.ru);  
Е.С. КЕЦКО<sup>2</sup>, аспирант (kkuzzina@mail.ru)

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

<sup>2</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук  
(127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

## Научно-техническая экспертиза конструкций для переоборудования открытых террас в помещениях многофункционального комплекса

Целью технического обследования в данной статье является оценка состояния строительных конструкций здания для переоборудования открытых террас. Основные задачи обследования – анализ архивной проектной, изыскательской и исполнительной документации, общее описание схемы террасы, визуальное обследование строительных конструкций (несущие стальные конструкции каркаса: колонны, балки, прогоны, связи, конструкции фахверков, узлы крепления; сварные швы; сэндвич-панели; витражи остекления, узлы их крепления; покрытие террасы (в местах вскрытий), а именно несущие конструкции (профнастил), пароизоляционный слой, теплоизоляционный слой, кровля (ПВХ мембрана) и узлы ее примыкания к существующим фасадам) с выявлением и фотофиксацией характерных видимых дефектов и повреждений (до 10% общего количества конструкций). Также были выполнены обмеры элементов несущих конструкций и узлов в объеме, необходимом для проведения технического обследования, визуальное выборочное обследование защитных покрытий металлоконструкций; оценка соответствия строительных конструкций; определение условий, необходимых для устройства эксплуатируемой кровли на северной террасе; определение категории технического состояния строительных конструкций в соответствии с ГОСТ 31937–2011 «Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния»; разработка обобщенных рекомендаций, т. е. носящих описательный характер, по устранению выявленных дефектов и повреждений конструкций. Кроме того, в рамках данной работы был выполнен выборочный визуальный и измерительный контроль сварных соединений металлических конструкций.

**Ключевые слова:** техническое обследование, переоборудование, визуальный осмотр, измерительный контроль, сварные соединения.

**Для цитирования:** Римшин В.И., Трунтов П.С., Кецко Е.С. Научно-техническая экспертиза конструкций для переоборудования открытых террас в помещениях многофункционального комплекса // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 37–41. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-37-41>

V.I. RIMSHIN<sup>1</sup>, Doctor of Sciences (Engineering) (RimshinVI@mgsu.ru), P.S. TRUNTOV<sup>1</sup>, Undergraduate (pavel\_truntov@mail.ru);  
E.S. KETSKO<sup>2</sup>, Postgraduate student (kkuzzina@mail.ru)

<sup>1</sup> National Research Moscow State University of Civil Engineering (26, Yaroslavl Highway, Moscow, 129337, Russian Federation)

<sup>2</sup> Scientific-Research Institute of Building Physics of the Russian Academy Architecture and Construction Sciences  
(21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Scientific and Technical Structures Expertise for the Open Terraces Re-Equipment in the Multifunctional Complex

The technical survey purpose in this article is assessing the building structures state. The main survey objectives are: archival design analysis, survey and as-built documentation, a general description of the terrace layout, building structures visual inspection (supporting steel frame structures (columns, beams, girders, ties, half-timbered structures, fasteners; welds); welded seams; sandwich-panels, stained-glass windows, their attachment points; terrace covering (in openings places), namely, load-bearing structures (corrugated board), vapor barrier layer, heat-insulating layer, roof (PVC membrane) and nodes of its abutment to existing facades) with identification and photographic recording of characteristic visible defects and damage (up to 10% of the total number of structures). Also, elements measurements of load-bearing structures and assemblies were carried out in the volume necessary for carrying out a technical survey, a visual sample survey of metal structures protective coatings, an assessment of building structures conformity, conditions determination necessary for the installation of an exploited roof on the northern terrace, determination technical condition of building structures in accordance with state standard 31937–2011, the generalized recommendations development, that is, a descriptive nature, for the identified defects elimination and damage to structures. In addition, within the framework of this work, selective visual and measuring control of welded joints in metal structures was carried out.

**Keywords:** technical inspection, re-equipment, visual inspection, measuring control, welded joints.

**For citation:** Rimshin V.I., Truntov P.S., Ketsko E.S. Scientific and technical structures expertise for the open terraces re-equipment in the multifunctional complex. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 37–41. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-37-41>

Северная терраса многофункционального комплекса является одноэтажным сооружением. Расположена на отметке +14,500 в осях G2–D/5-19. Строительные конструкции террасы – несущие стальные конструкции каркаса (колонны, балки, прогоны, связи, конструкции фахверков, узлы крепления сварных швов); сварные швы; сэндвич-панели, витражи остекления и узлы их крепления; покрытие террасы (в местах вскрытий), а именно несущие конструкции (профнастил), пароизоляционный слой, теплоизоляционный слой, кровля (ПВХ мембрана) и узлы ее примыкания к существующим фасадам. При обследовании конструкций здания использовались визуальный и визуально-инструментальный методы. Визуально выявлялись дефекты строительных конструкций: деформации, смещения несущих элементов относительно проектных положений и др. Визуально-инструментальными методами уточнялись геометрические размеры строительных конструкций и отдельных элементов. Определение толщины лакокрасочного и огнезащитного покрытий выполнялось толщиномером ТМ-20МГ4. Контроль качества сварных швов проводился с использованием комплекта для визуального и измерительного контроля «КВК ТрассоВИК». Линейные измерения произведены измерительной рулеткой и штангенциркулем. В рамках данной работы обследовались следующие строительные конструкции с выявлением и фотофиксацией характерных видимых дефектов и повреждений (до 10% общего количества конструкций): несущие стальные конструкции каркаса: колонны, балки, прогоны, связи, конструкции фахверков; узлы крепления сварных швов; сэндвич-панели; витражи остекления и узлы их крепления; покрытие террасы (в местах вскрытий), а именно: несущие конструкции (профнастил), пароизоляционный слой, теплоизоляционный слой, кровля (ПВХ мембрана) и узлы ее примыкания к существующим фасадам. Терраса построена в 2018 г. по проекту «Переоборудование открытых площадей северной террасы в многофункциональном комплексе». На рис. 1 представлен фрагмент общего вида террасы.

В соответствии с принципиальным решением несущего остова, обеспечивающего общую прочность, жесткость и устойчивость сооружения, здание имеет каркасную конструктивную систему. Общая устойчивость и жесткость террасы обеспечивается совместной работой рам и связей покрытия. В соответствии с проектными данными основу несущего остова террасы составляют стальные рамы, которые выполнены из прокатных профилей. Наружное ограждение террасы выполнено из витражей остекления и навесных трехслойных сэндвич-панелей с утеплителем из минеральной ваты. В соответствии с проектами покрытие выполнено из стального профилированного настила по стальным прогонам. Покрытие утеплено минераловатными плитами Rockwool, кровля из материалов Техноэласт. Витражи из алюминиевых профилей со стеклопакетами. Опираение рам выполнено на плиту покрытия на отметке +14.500 (колонна) и торец плиты перекрытия на отметке +18.600 (рис. 2). Опорные металлические конструкции закреплены к парапетам при помощи химических анкеров. По ригелям рам уложены балки из прокатных профилей. По результатам обмеров определено, что сечения металлических конструкций и опорных узлов соответствуют проектным данным. Геометрические размеры конструкций в целом соответствуют проектной документации, за исключением отдельных отступлений. При обследовании выявлены следующие дефекты и повреждения металлических конструкций: некачественное защитное лакокрасочное покрытие (рис. 3); имеются локальные участки отслоения защитного покрытия металлических конструкций и следы коррозии металла (рис. 4); отсутствуют отдельные анкерные болты (рис. 5).

Наружное ограждение террасы выполнено из витражей остекления и навесных трехслойных сэндвич-панелей с утеплителем из минеральной ваты. Сэндвич-панели имеют толщину 150 мм. При обследовании выявлены следующие отступления от фактически выполненных строительных конструкций: толщина фактически смонтированных сэндвич-панелей составляет



**Рис. 1.** Фрагмент общего вида террасы в осях G2-/7-6

**Fig. 1.** The general view fragment of the terrace in the axes G2-/7-6



**Рис. 2.** Узел витражной системы блока на подконструкции парапета

**Fig. 2.** The stained-glass system node on the parapet substructure



**Рис. 3.** Узел крепления витражной системы к колонне

**Fig. 3.** The stained-glass system node to the column



**Рис. 4.** Локальные участки отслоения защитного покрытия металлоконструкций и следы коррозии металла

**Fig. 4.** Local protective coating delamination of metal structures and metal corrosion areas



**Рис. 5.** Отсутствие анкеров для крепления колонны к основанию

**Fig. 5.** Lack of anchors for securing the column to the base

150 мм, что больше проектной толщины 50 мм. По результатам обследования значительных и критических дефектов конструкций не выявлено. При визуальном обследовании техническое состояние конструкций оценивается как работоспособное. Покрытие террасы выполнено из стального профилированного настила, который уложен по балкам покрытия. Покрытие утеплено минераловатными плитами, кровля выполнена из полимерной мембраны. Полимерная (ПВХ) мембрана заведена на стену здания, к которому примыкает терраса. По результатам обследования значительных критических дефектов покрытия не выявлено, техническое состояние конструкции покрытия оценивается как работоспособное.

Для устройства эксплуатируемой кровли необходимо выполнить поверочные расчеты несущих конструкций террасы с учетом нагрузок от планируемой конструкции эксплуатируемой кровли. По результатам поверочных расчетов может быть принято решение о возможности устройства эксплуатируемой кровли и при необходимости мероприятия по усилению конструкций [1–4].

Визуально-измерительный контроль сварных соединений выполняется в соответствии с РД 03-606-03 с целью выявления деформаций, поверхностных трещин, подрезов, прожогов, наплывов, кратеров, свищей, пор, раковин и других несплошностей и дефектов формы швов; проверки геометрических размеров сварных швов и допустимости выявленных деформаций, поверхностных несплошностей и дефектов формы сварных швов. В выполненном сварном соединении визуально следует контролировать: отсутствие (наличие) поверхностных трещин всех видов и направлений; отсутствие (наличие) на поверхности сварных соединений дефектов (пор, включений, скоплений пор и включений, отслоений, прожогов, свищей, наплывов, усадочных раковин, подрезов, брызг расплавленного металла, западаний между валиками, грубой чешуйчатости, а также мест касания сварочной дугой поверхности основного ма-

териала); размеры поверхностных дефектов (поры, включения и др.), выявленных при визуальном контроле; подрезы (глубина и длина) основного металла; размеры катета углового шва [5–8]. По результатам визуально-инструментального контроля проконтролированные швы сварных соединений должны удовлетворять требованиям СП 70.13330.2012 [9].

При выполнении контроля применялись следующие приборы и инструменты, комплект ВИК, штангенциркуль ШЦ-1-150-0,1, линейка металлическая измерительная Л-150, лупа измерительная ЛИ-3-10х, универсальный шаблон сварщика УШС-3, универсальный шаблон катетов швов УШС-2. Контроль качества сварных швов выполнен в соответствии с РД 03-606-03, по нормам отбраковки СП 70.13330.2012. Визуально-измерительный контроль проводился выборочно, с учетом доступности. Визуально-инструментальным способом были проконтролированы сварные соединения в металлических конструкциях. По результатам выборочного визуального и измерительного контроля сварных соединений металлических конструкций были обнаружены следующие дефекты: неравномерно-чешуйчатая поверхность шва ( $\approx 20\%$  проконтролированных швов); величина катетов сварных швов ( $\approx 12\%$  проконтролированных швов) не соответствует проекту; прожог в осях 15/F, что не соответствует требованиям СП 70.13330.2012 п. 10.4.4, табл. 10.7. В остальных сварных швах не обнаружено дефектов, превышающих допустимые значения СП 70.13330.2012. Дефекты, обнаруженные по результатам визуального и измерительного контроля сварных швов, должны быть исправлены и подвергнуты повторному визуально-измерительному контролю.

По результатам обмерных работ определено, что сечения металлических конструкций и опорных узлов соответствуют проектным данным. Геометрические размеры конструкций в целом соответствуют проектной документации, за исключением отдельных отступлений. При обследовании выявлены следующие дефекты и повреждения металлических конструкций: некачественно выполнено защитное лакокрасочное покрытие; имеются локальные участки отслоения защитного покрытия металлических конструкций и следы коррозии металла; отсутствуют отдельные анкерные болты [10–13]. По результатам выборочного визуального и измерительного контроля сварных соединений металлических конструкций были обнаружены следующие дефекты: неравномерно-чешуйчатая поверхность шва ( $\approx 20\%$  проконтролированных швов); величина катетов сварных швов ( $\approx 12\%$  проконтролированных швов) не соответствует проекту; прожог в осях 15/F, что не соответствует требованиям СП 70.13330.2012, п. 10.4.4, табл. 10.7. В соответствии с проектными данными толщина огнезащитного

покрытия должна составлять 1,9 мм, а по результатам выборочного инструментального определения толщины защитных покрытий металлических конструкций установлено, что их суммарная толщина составляет 2,5–3,5 мм, за исключением отдельных локальных участков. В остальных сварных швах не обнаружено дефектов, превышающих допустимые значения СП 70.13330.2012. Дефекты, обнаруженные по результатам визуального и измерительного контроля сварных швов, должны быть исправлены и подвергнуты повторному визуально-измерительному контролю.

Для дальнейшей безопасной эксплуатации конструкций северной террасы рекомендуется преду-

смотреть следующие мероприятия. Выполнить ремонт сварных швов, удалить участки отслаивающегося лакокрасочного и огнезащитного покрытия, поврежденные участки обеспылить, обезжирить и восстановить защитные покрытия, установить отсутствующие анкеры в опорных узлах колонн. Для устройства эксплуатируемой кровли на покрытии северной террасы необходимо: выполнить поверочные расчеты несущих конструкций террасы с учетом нагрузок от планируемой конструкции эксплуатируемой кровли; по результатам поверочных расчетов может быть принято решение о возможности устройства эксплуатируемой кровли и при необходимости о мероприятиях по усилению конструкций [14–15].

### Список литературы

1. Анпилов С.М., Римшин В.И., Ерышев В.А., Гайнуллин М.М., Мурашкин В.Г., Анпилов М.С., Сорочайкин А.Н., Китайкин А.Н. Фасадные системы. *Опытно-конструкторские научные исследования: Сборник статей* / Под ред. В.П. Селяева. Тольятти: Институт судебной строительно-технической экспертизы, 2021. С. 4–6.
2. Варламов А.А., Римшин В.И. Модели поведения бетона. Общая теория деградации: Монография. М.: Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2019. 436 с. DOI: 10.12737/monography\_5c8a716e3c4460.52838016
3. Кузина И.С. Методика обследования технического состояния крыши. В сб.: *Строительство. Архитектура. Дизайн // Материалы Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых*. Курск: Курский государственный университет, 2020. С. 116–119.
4. Кузина И.С. Методика тепловизионного обследования в рамках работы по реконструкции зданий и сооружений // *Сборник докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ студентов Института инженерно-экологического строительства и механизации НИУ МГСУ*, 2020. С. 128–131.
5. Римшин В.И., Кецо Е.С., Трунтов П.С., Кузина И.С., Быков Г.С. Поверочные расчеты строительных конструкций в рамках комплексного технического обследования // *Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Сборник докладов Первой Национальной конференции*. 2020. С. 148–155.
6. Киряткова А.В., Кочкин А.А., Шубин И.Л., Шашкова Л.Э. Экспериментальные исследования звукоизоляции двойных ограждающих конструкций из слоистых элементов // *Биосферная совместимость: человек, регион, технологии*. 2020. № 4 (32). С. 73–79.
7. Donchenko O.M., Suleymanova L.A., Rimshin V.I., Ryabchevskiy I.S. Tensile deformations of «mild» re-

### References

1. Anpilov S.M., Rimshin V.I., Eryshev V.A., Gainullin M.M., Murashkin V.G., Anpilov M.S., Sorochaykin A.N., Kitaykin A.N. Fasadnye sistemy [Facade systems]. *Experimental design research. Collection of articles*. Edited by V.P. Selyaev. Tolyatti: Institute of Forensic Construction and Technical Expertise, 2021, pp. 4–6.
2. Varlamov A.A., Rimshin V.I. Modeli povedeniya betona. Obshchaya teoriya degradatsii [Models of concrete behavior. General theory of degradation]. Moscow: INFRA-M. 2019. 436 p. DOI: 10.12737/monography\_5c8a716e3c4460.52838016
3. Kuzina I.S. Method of inspection of the technical condition of the roof. *In the collection: Construction. Architecture. Design. Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists*. Kursk. 2020, pp. 116–119. (In Russian).
4. Kuzina I.S. Methods of thermal imaging survey in the framework of work on the reconstruction of buildings and structures. *Collection of reports of the Scientific and Technical Conference on the results of research works of students of the Institute of Engineering and Environmental Construction and Mechanization of the National Research University of Moscow State Technical University*. 2020, pp. 128–131. (In Russian).
5. Rimshin V.I., Ketsko E.S., Truntov P.S., Kuzina I.S., Bykov G.S. Verification calculations of building structures in the framework of a comprehensive technical survey. *Actual problems of the construction industry and education. Collection of reports of the First National Conference*. 2020, pp. 148–155. (In Russian).
6. Kiryatkova A.V., Kochkin A.A., Shubin I.L., Shashkova L.E. Experimental studies of sound insulation of double enclosing structures made of layered elements. *Biosferная совместимость: chelovek, region, tekhnologii*. 2020. No. 4 (32), pp. 73–79. (In Russian).
7. Donchenko O.M., Suleymanova L.A., Rimshin V.I., Ryabchevskiy I.S. Tensile deformations of «mild» re-

- reinforcing steels for reinforced concrete structures // *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 147, pp. 302–308.
8. Graboviy P. Construction management and real estate development. Part I: Construction management. Stockholm: Bokforlaget Efron & Dotter AB. 20202. 674 p.
  9. Merkulov S., Rimshin V., Akimov E., Kurbatov V., Roschina S. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020*. 2020. 012022.
  10. Varlamov A., Kostyuchenko Y., Rimshin V., Kurbatov V. Diagrams of concrete behavior over time // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020*. 2020. 012085.
  11. Varlamov A., Shafranovskaya T., Rimshin V., Kurbatov V. The two-factor destructions model of the composite // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering, MPCPE 2020*. 2020. 012086.
  12. Degaev E., Rimshin V.I. Checking the integrity of piles by seismoacoustic defectos copy // *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modelling and Methods of Structural Analysis 2019, MMSA 2019*. 2020. 012153.
  13. Eryshev V.A., Karpenko N.I., Rimshin V.I. The parameters ratio in the strength of bent elements calculations by the deformation model and the ultimate limit state method // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Science and Technology Conference. 2020. Vol. 753. 022076. doi:10.1088/1757-899X/753/2/022076*
  14. Borkovskaya V.G., Degaev E.N., Rimshin V.I., Shubin I.L. Problems and risks of control in the housing and communal services industry // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. 052046 DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052046*
  15. Karpenko N.I., Rimshin V.I., Eryshev V.A., Shubin L.I. Deformation models of concrete strength calculation in the edition of Russian and foreign norms // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. 052043 DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052043*
  16. Мосаков Б.С., Курбатов В.Л., Римшин В.И. Основы технологической механики тяжелых бетонов. Минеральные Воды: КМБ СКФ БГТУ им. В.Г. Шухова, 2017. 210 с.
- reinforcing steels for reinforced concrete structures. *Lecture Notes in Civil Engineering*. 2021. Vol. 147, pp. 302–308.
8. Graboviy P. Construction management and real estate development. Part I: Construction management. Stockholm: Bokforlaget Efron & Dotter AB. 20202. 674 p.
  9. Merkulov S., Rimshin V., Akimov E., Kurbatov V., Roschina S. Regulatory support for the use of composite rod reinforcement in concrete structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering*. 2020. 012022.
  10. Varlamov A., Kostyuchenko Y., Rimshin V., Kurbatov V. Diagrams of concrete behavior over time. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering*, 2020. 012085.
  11. Varlamov A., Shafranovskaya T., Rimshin V., Kurbatov V. The two-factor destructions model of the composite. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. International Conference on Materials Physics, Building Structures and Technologies in Construction, Industrial and Production Engineering*, 2020. 012086.
  12. Degaev E., Rimshin V. I. Checking the integrity of saws by seismoacousticdefectos copy. *Journal of Physics: Conference Series. International Scientific Conference on Modeling and Methods of Structural Analysis*, 2019. 2020. 012153.
  13. Eryshev V.A., Karpenko N.I., Rimshin V.I. The parameters ratio in the strength of bent elements calculations by the deformation model and the ultimate limit state method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. 022076. doi:10.1088/1757-899X/753/2/022076*
  14. Borkovskaya V.G., Degaev E.N., Rimshin V.I., Shubin I.L. Problems and risks of control in the housing and community services industry. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. 052046 DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052046*
  15. Karpenko N.I., Rimshin V.I., Eryshev V.A., Shubin L.I. Deformation models of concrete strength calculation in the edition of Russian and foreign norms. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 753. 052043 DOI: 10.1088/1757-899X/753/5/052043*
  16. Mosakov B.S., Kurbatov V.L., Rimshin V.I. Osnovy tekhnologicheskoi mekhaniki tyazhelykh betonov [Fundamentals of technological mechanics of heavy concrete]. *Mineralnye Vody: KMB SKF BSTU im. V.G. Shukhov*. 2017. 210 p.

УДК 628.1.033

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-42-47>

Г.А. САМБУРСКИЙ<sup>1,2</sup>, канд. техн. наук (gesamb@yandex.ru);  
В.И. БАЖЕНОВ<sup>1,3</sup>, д-р техн. наук;  
Д.Б. ФРОГ<sup>4</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup> Российская ассоциация водоснабжения и водоотведения (119330, Москва, ул. Мосфильмовская, 35, стр. 2)

<sup>2</sup> МИРЭА – Российский технологический университет (119454, Москва, пр. Вернадского, 78)

<sup>3</sup> ЗАО «Водоснабжение и водоотведение» (127018, Москва, ул. Полковная, 1)

<sup>4</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, Москва, Локомотивный пр, 21)

## Принципы оценки стоимости жизненного цикла технологий водоподготовки при реализации ФП «Чистая вода»

*Процессы водоподготовки питьевой воды связаны с необходимостью обеспечения строгого соответствия ее качества современным требованиям санитарного и гигиенического законодательства. Таким образом, выбор технологий водоподготовки при реализации программ модернизации или нового строительства должен быть основан на современных подходах, являющихся залогом обеспечения должного качества питьевой воды при достаточности обеспечения процесса водоочистки в технологическом аспекте. Требования к проектированию очистных сооружений, описанные в действующих сводах правил, необходимо актуализировать для предоставления проектировщикам возможности оценки надежности технологии очистки воды с учетом скрытых рисков, связанных как с технологическими факторами, так и с вероятностью наличия негативных воздействий на потребителей, что в конечном счете в сумме определяет расходы на эксплуатацию систем питьевого водоснабжения на протяжении жизненного цикла. Авторами продемонстрирована интеграция оценки стоимости жизненного цикла технологии водоподготовки питьевой воды и связь этой технологии с вероятными рисками.*

**Ключевые слова:** водоподготовка, стоимость жизненного цикла, капитальные затраты, эксплуатационные затраты, оценка рисков, эффективность.

**Для цитирования:** Самбурский Г.А., Баженов В.И., Фрог Д.Б. Принципы оценки стоимости жизненного цикла технологий водоподготовки при реализации ФП «Чистая вода» // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 42–47. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-42-47>

G.A. SAMBURSKY<sup>1,2</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (gesamb@yandex.ru);  
V.I. BAZHENOV<sup>1,3</sup>, Doctor of Sciences (Engineering);  
D.B. FROG<sup>4</sup>, Candidate of Sciences (Engineering)

<sup>1</sup> Russian Water Supply & Water Disposal Association (35, bldg.2, Mosfilmovskaya Street, Moscow, 119330 Russian Federation)

<sup>2</sup> MIREA-Russian Technological University, (78, Vernadsky Avenue, Moscow, 119454, Russian Federation)

<sup>3</sup> CJSC “Water Supply and Water Disposal” (1, Polkovaya Street, Moscow, 127018, Russian Federation)

<sup>4</sup> Research Institute of Building Physics of the Russian Academy of Architecture and Construction Sciences (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

### Principles of Estimating the Cost of the Life Cycle of Water Treatment Technologies when Implementing the “Clean Water” Federal Project

The processes of drinking water treatment are associated with the need to ensure strict compliance of its quality with modern requirements of sanitary and hygienic legislation. Thus, the choice of water treatment technologies in the implementation of modernization or new construction programs should be based on modern approaches that are the key to ensuring the proper quality of drinking water with sufficient provision of the water treatment process in the technological aspect. The requirements for the design of treatment facilities described in the current codes of practice should be updated to enable designers to assess the reliability of water treatment technology, taking into account the hidden risks associated with both technological factors and the likelihood of negative impacts on consumers, which ultimately determines the total cost of operating drinking water supply systems throughout the life cycle. The authors demonstrate the integration of the life cycle cost estimation of drinking water treatment technology and the relationship of this technology with probable risks.

**Keywords:** water treatment, life cycle cost, capital costs, operating costs, risk assessment, efficiency.

**For citation:** Sambursky G.A., Bazhenov V.I., Frog D.B. Principles of estimating the cost of the life cycle of water treatment technologies when implementing the “Clean Water” Federal Project. *Zhiliishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 42–47. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-42-47>

Оценка стоимости жизненного цикла (СЖЦ) является инструментом, использование которого необходимо для обеспечения работы систем централизованного питьевого водоснабжения (ЦСВ) и соблюдения санитарных и технических требований действующего законодательства РФ в области качества питьевой воды после водоподготовки (Постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические норма-

тивы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» вместе с СанПиН 1.2.3685–21 «Санитарные правила и нормы...», зарегистрировано в Минюсте России 29.01.2021 № 62296. [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_375839/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_375839/). Дата обращения 01.04.2021).

На первое место для проектировщиков выходит задача учета скрытых в эксплуатационном периоде потенциальных рисков (вероятность непредвиденных

Таблица 1  
Table 1

**Варианты определения категорий вероятности и тяжести последствий, которые можно использовать для оценки риска здоровью населения**  
**Options for determining the categories of probability and severity of consequences that can be used to assess the risk to public health**

Категории	Класс	Примечания
<i>Определение событий</i>		<i>Частота возникновения</i>
Почти наверняка	5	Один раз в день
Вероятно	4	Один раз в неделю
С умеренной вероятностью	3	Один раз в месяц
Маловероятно	2	Один раз в год
Изредка	1	Один раз в пять лет
<i>Тяжесть последствий</i>		<i>Последствия</i>
Катастрофическое воздействие на здоровье населения	5	Воздействие на химический состав с превышением коэффициента запаса ПДК
Существенное воздействие	4	Воздействие на химический состав в пределах коэффициента запаса ПДК
Умеренное воздействие на органолептические свойства	3	Воздействие на органолептические свойства
Слабое воздействие	2	Воздействие без превышения нормативов
Воздействие незначительно или отсутствует	1	Воздействие отсутствует или не выявлено

Таблица 2  
Table 2

**Матрица для оценки надежности технологии очистки воды на основе определения риска полуколичественным методом**  
**A matrix for assessing the reliability of water treatment technology based on the risk determination by a semi-quantitative method**

Частота наступления риска	Наличие воздействия и степень его тяжести				
	Воздействие незначительно или отсутствует	Слабое воздействие	Умеренное воздействие на органолептические свойства	Существенное воздействие	Катастрофическое воздействие на здоровье населения
	Класс 1	Класс 2	Класс 3	Класс 4	Класс 5
	Баллы				
Практически наверняка (один раз в день) <b>Класс 5</b>	5	10	15	20	25
Вероятно (один раз в неделю) <b>Класс 4</b>	4	8	12	16	20
Умеренно (один раз в месяц) <b>Класс 3</b>	3	6	9	12	15
Маловероятно (один раз в год) <b>Класс 2</b>	2	4	6	8	10
Изредка (один раз в пять лет) <b>Класс 1</b>	1	2	3	4	5

издержек и расходов) и обеспечения для эксплуатирующих организаций минимизации затрат на протяжении эксплуатационного периода. Для возможности оценки рисков, связанных с санитарными и технологическими аспектами работы систем питьевого водоснабжения, ранее были установлены различия между существенными и менее существенными опасными факторами или событиями (табл. 1, 2) [1–4]. Сама оценка риска может быть реализована качественным или полуколичественным методом [5].

При использовании матрицы для оценки риска в качестве критерия оценки технологии водоподготовки на основе использования методологии оценки риска значительную роль играет экспертное мнение, которое позволяет судить о рисках для здоровья населения, возникающих в связи с опасными факторами или событиями.

Определению величины показателя риска (табл. 3, 4) должна соответствовать возможность его контроля [5–7]. При обнаружении уязвимости существующей технологии или, например, качества источника необходимо разработать программы повышения качества, с учетом кратко-, средне- и долгосрочных мер по ослаблению как вероятности, так и последствий.

Класс риска, соответствующий позиции «Очень высокий», неприемлем для работы предприятия водоснабжения с позиций абсолютной недопустимости вреда для здоровья населения. Параметрами для определения приоритетности риска могут служить сведения, представленные в [3, 6, 7].

Результативность реализации проектов модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки)  $R_{es}$  оценивается по уровню достижения приемлемого/целевого риска здоровью (Р 2.1.10.1920–04 «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду». Утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 5 марта 2004 г. <https://base.garant.ru/4181873/>. Дата обращения 01.04.2021), по формуле [1]:

Таблица 3  
Table 3

Показатели для оценки риска  
полуколичественным методом  
Indicators for risk assessment  
by the semi-quantitative method

Баллы риска	≤6	7–9	10–15	≥16
Класс риска	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий

$$R_{es} = \frac{R_{\text{после}}}{R_{\text{цел}}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{после}}$  – риск после реализации проектов модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки);  $R_{\text{цел}}$  – приемлемый/целевой уровень риска.

Фактически для проектировщиков, технологов и контролирующих органов (включая экспертные организации) проект модернизации (технологии водоподготовки) следует оценивать исходя из необходимости выполнения требования  $R_{es} \leq 1$ . При наличии нескольких альтернативных технологий водоподготовки для одного объекта выполняется оценка эффективности каждой технологии  $E_{ff}$  по формуле (2):

$$E_{ff} = \frac{\Delta R}{Z_k + Z_{\text{экспл}}}, \quad (2)$$

где  $\Delta R$  – разность величин риска до и после реализации проекта модернизации (внедрения инновационной технологии водоподготовки);  $Z_k$  – капитальные и ежегодные эксплуатационные ( $Z_{\text{экспл}}$ ) затраты на реализацию проекта модернизации системы водоснабжения.

Для расчета затрат в формуле (2) следует использовать разработанную методику оценки стоимости жизненного цикла (СЖЦ) [8, 9].

Полный вид уравнения текущей стоимости с учетом дисконтирования затрат во времени представлен формулой (3), при этом расшифровка составляющих приведена в ГОСТ Р 58785–2019 «Качество воды. Оценка стоимости жизненного цикла для эффектив-

Таблица 4  
Table 4

Параметры для определения приоритетности риска  
Parameters for determining risk priorities

Приоритет	Характеристика риска	Примечание
Явный приоритет	Существенный риск	Риск нуждается в дальнейшем изучении. Необходимо определить эффективность существующих мер контроля. Требуется дополнительные меры контроля
Нет уверенности, что вероятное событие может приводить к возникновению риска	Неопределенный риск	Необходимость дополнительного исследования возможностей и характеристик технологии
Не приоритет	Несущественный риск	Риск будет учтен при совершенствовании технологии

Таблица 5  
Table 5

Примеры опасных событий и связанных с ними факторов опасности  
при оценке технологий очистки питьевой воды [2, 5, 8]  
Examples of dangerous events and related hazard factors in the assessment  
of drinking water treatment technologies [2, 5, 8]

Опасное событие	Факторы опасности	Баллы
Несоблюдение режимов зон санитарной охраны водного источника	В соответствии с характеристиками водосборной площади – непредсказуемое изменение качества воды	3
Перебои в электроснабжении	Перебои в водоочистке	8
	Отсутствие обеззараживания воды	9
Несоответствие регламентной производительности сооружений водоподготовки. Работа сооружений в режиме байпаса – перепускной канал	Перегрузка сооружений водоподготовки	6
	Недостаточное качество водоподготовки	6
Нарушение технологии обеззараживания воды	Надежность системы обеззараживания	9
	Формирование побочных продуктов обеззараживания	7
Сбой в системе водоподготовки	Неподготовленная вода	9
Использование для водоподготовки реагентов и материалов, не соответствующих проектной документации, не соответствующих стандарту, требованиям санитарных правил	Загрязнение системы водоснабжения и снижение качества питьевой воды	4
	Химизация питьевой воды, необходимость дополнительного контроля показателей качества питьевой воды	5
Засорение фильтров. Недостаточный объем фильтрующей загрузки	Недостаточное удаление взвешенных частиц, вторичное загрязнение и снижение качества питьевой воды	6
Вандализм, нарушение правил антитеррористической безопасности	Загрязнение или прекращение подачи воды	9
Сбой контрольно-измерительной аппаратуры	Отсутствие управления технологическим процессом водоподготовки	8
Телеметрия (наблюдение)	Нарушение связи с объектом контроля	5
Аварийные ситуации: пожар; взрыв, наводнение	Нарушения в технологии водоочистки. Прекращение или ограничение работы водоочистных сооружений	2

ной работы систем и сооружений водоснабжения и водоотведения»:

$$СЖЦ = \sum_{t_1}^n \frac{КАПИТ (C_{ic}^{3+C} + C_{ic}^{PP} + C_{ic} + C_{in})}{(1+r)^n} + \sum_{t_2}^n \frac{ЭКСПЛ (C_e + C_o + C_m + C_s + C_{env})}{(1+r)^n} + C_d, \quad (3)$$

где  $n$  – расчетный период, лет;  $t_1, t_2$  – соответственно начало этапов выполнения капитальных и эксплуатационных затрат;  $C$  – параметры табл. 6.

В работах [2, 10, 11] было показано, что при выборе технологий водоподготовки риск может быть оценен в части:

- химических веществ, изначально присутствующих в воде водоисточника;
- фактора, детерминированного водоподготовкой;
- фактора транспортировки и распределения воды.

С учетом проведенных исследований [12, 13] и анкетирования специалистов в области централизованного питьевого водоснабжения и санитарных врачей оценочный уровень различных рисков для возможности их учета представлен в табл. 5. Каждому

опасному событию соответствует фактор опасности и потенциальная оценка в баллах (интервал), что позволяет интегрировать приведенные данные для расчета эффективности выбираемой технологии водоподготовки, т. е. выбор технологии будет функцией оценки СЖЦ и рисков.

Выбранная технология должна быть оценена на соответствующие показатели по формулам (1), (2), (3). В табл. 6 показан пример расчета СЖЦ для разных выбранных технологических процессов.

В рассматриваемой ситуации к сравнительной оценке приняты три варианта, каждый из которых соответствует по формальным признакам [1] без учета рисков некачественной воды. Исходные данные – вода поверхностного источника, класс 2 (ГОСТ 2761–84 «Источники централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения. Гигиенические, технические требования и правила выбора». <https://files.stroyinf.ru/Data1/10/10980/>. Дата обращения 01.04.2021). Не достигаются результаты по обеспечению качества воды по паводковым сезонам года по показателям: хлороформ, алюминий, цветность. Предлагаемые варианты: оставить тех-

Таблица 6  
Table 6

Результаты расчета  
Calculation results

Составляющие элементы СЖЦ в варианте модернизации	Вариант 1: восстановить бетон, переложить сети, оставить технологию без принципиальных изменений	Вариант 2: обеспечить барьерную функцию по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на УФ	Вариант 3: обеспечить по мутности, цветности, органолептическим показателям, заменить оборудование, сменить режим обеззараживания на озонирование + сорбция + УФ
$C_{ic}^{3+C}$ , млн р.	Не учитывается по техническому заданию		
$C_{ic}^{PP}$ , млн р.	5,5	45	58
$C_{ic}$ , с ценой оборудования, млн р.	460	1250	2150
$C_{in}$ , млн р.	58	490	750
КАПИТ, млн р.	523,5	1875	2958
$C_e$ , млн р.	12800	10850	14100
$C_o$ , млн р.	Не учитывается по техническому заданию		
$C_m$ , млн р.	250	150	4550
$C_s$ , млн р.	1550	–	–
$C_{env}$ , млн р.	25	15	15
$C_d$ , млн р.	Не учитывается по техническому заданию		
ЭКСПЛ, млн р.	14625	11015	18665
СЖЦ, млн р.	15148,5	12980	21623

нологию без принципиальных изменений, усовершенствовав систему обеззараживания; изменить процесс осветления с объемного на контактный + изменить схему обеззараживания; ввести в технологию стадию озонсорбции + изменить схему обеззараживания.

Исходя из оценки стоимости жизненного цикла, приоритетным решением является вариант 2. С учетом того факта, что от оценки СЖЦ зависит результирующее значение оценки эффективности каждой технологии  $E_{ff}$  по формуле (2), учет составляющей оценки риска позволяет осуществить выбор проектных и эксплуатационных решений с учетом действи-

Список литературы

1. Справочник перспективных технологий водоподготовки и очистки воды с использованием технологий, разработанных организациями оборонно-промышленного комплекса и учетом оценки риска здоровью населения. <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18492/>. Дата обращения 01.04.2021.
2. Плитман С.И., Тулакин А.В., Самбурский Г.А. и др. Химия. Окружающая среда. Здоровье / Под ред. акад. Н.Ф. Измерова. М.: Изд-во технической литературы, 2016. 382 с.

тельно считааемых капитальных и эксплуатационных затрат. Представленную в статье методологию необходимо доработать в части ориентированности на проектировщиков и технологов, которые получают методику расчета санитарных и технологических рисков для систем централизованного водоснабжения.

References

1. Spravochnik perspektivnykh tekhnologij vodopodgotovki i ochistki vody s ispol'zovaniem tekhnologij, razrabotannykh organizatsiyami oboronno-promyshlennogo kompleksa i uchetom ocenki riska zdorov'yu naseleniya [Handbook of promising technologies for water treatment and water purification using technologies developed by military-industrial organizations of the complex and taking into account the risk assessment to public health]. Moscow. <https://minstroyrf.gov.ru/docs/18492/>. Accessed 01.04.2021. (In Russian).
2. Plitman S.I., Tulakin A.V., Sambursky G.A., et al. Himiya. Okruzhayushchaya sreda. Zdorov'e [Chemistry. Environment. Health]. Ed. Academician N.F. Izmerova. Moscow: Publishing house of technical literature. 2016. 382 p.
3. Sambursky G.A., Grodzensky S.Yu. Approaches to risk assessment and the choice of water purification

3. Samburskiy G.A., Grodzenskiy S.Yu. Approaches to risk assessment and selection of water treatment technologies to provide consumers with quality drinking water. *Amazonia Investiga*. 2020. Vol. 9 (25), pp. 33–43. Retrieved from <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/1024>
4. Самбурский Г.А., Нефедова Е.Д. Подходы к оценке рисков и выбору технологий водоподготовки для обеспечения потребителей качественной питьевой водой // *Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение*. 2020. № 2 (146). С. 48–56.
5. Camilla West, Steven Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan. Why do residential recycled water schemes fail? A comprehensive review of risk factors and impact on objectives // *Water Research*. 2016. 102, pp. 271–281. [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres).
6. Arjen Y. Hoekstra. Water footprint assessment: evolution of a new research field. *Water resources management*. 2017. August. 31:3061–3081. DOI 10.1007/s11269-017-1618-5
7. Boulay A-M., Bulle C., Deschenes L., Margni M. LCA characterization of freshwater use on human health and through compensation. In: *Towards life cycle Sustainability management*. SpringerLink. 2011b, pp. 193–204.
8. Баженов В.И., Пупырев Е.И., Самбурский Г.А., Березин С.Е. Разработка методики расчета стоимости жизненного цикла оборудования, систем и сооружений для водоснабжения и водоотведения // *Водоснабжение и санитарная техника*. 2018. № 2. С. 10–19.
9. UNEP-SETAC, Life Cycle Initiative (2017) *Global Guidance for Life Cycle Impact Assessment Indicators (Vol. 1)*. Edited by: Rolf Frischknecht and Olivier Joliet. Retrieved from <http://www.lifecycleinitiative.org/applying-lca/lcia-cf/>.
10. Spellman F.R. *Handbook for the treatment of natural and waste water. Water supply and sewerage (SPb: 2014 TsOP Profession) 1312 c.*
11. Pfister S., Boulay A-M., Berger M. et al. Understanding the LCA and ISO water footprint: a response to Hoekstra (2016) a critique on the water-scarcity weighted water footprint in LCA. 2017. *Ecol Indic* 72: 352–359.
12. Самбурский Г.А., Пестов С.А. Технологические и организационные аспекты процессов получения воды питьевого качества. М.: Издательские решения, 2017. 184 с.
13. Boulay A-M. et al. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2017. Vol. 23 (2), <http://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>
- technologies to provide consumers with high-quality drinking water. *Amazonia Investiga*. 2020. Vol. 9 (25), pp. 33–43. Retrieved from <https://amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/1024>
4. Samburskiy G.A., Nefedova E.D. Approaches to risk assessment and the choice of water treatment technologies for providing consumers with high-quality drinking water. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie*. 2020. No. 2 (146), pp. 48–56. (In Russian).
5. Camilla West, Stephen Kenway, Maureen Hassall, Zhiguo Yuan. Why do residential water recycling schemes fail? A comprehensive review of risk factors and their impact on the goals. *Water Research*. 2016. 102, pp. 271–281. [www.elsevier.com/locate/watres](http://www.elsevier.com/locate/watres).
6. Arjen Y. Hoekstra. Water footprint assessment: evolution of a new research field. *Water resources management*. 2017. August 31:3061–3081. DOI 10.1007/s11269-017-1618-5
7. Boulay A-M., Bulle C., Deschenes L., Margni M. LCA characterization of freshwater use on human health and through compensation. In: *Towards life cycle Sustainability management*. SpringerLink. 2011b, pp. 193–204.
8. Bazhenov V.I., Pupyrev E.I., Samburskiy G.A., Berezin S.E. Development of a methodology for calculating the cost of the life cycle of equipment, systems and structures for water supply and sanitation. *Vodosnabzhenie i sanitarnaya tekhnika*. 2018. No. 2, pp. 10–19. (In Russian).
9. UNEP-SETAC, Life Cycle Initiative (2017) *Global Guide to Life Cycle Impact Assessment Indicators (Volume 1)*. Edited by Rolf Frischknecht and Olivier Jolier. Retrieved from <http://www.lifecycleinitiative.org/applying-lca/lcia-cf/>.
10. Spellman F.R. *Handbook for the treatment of natural and waste water. Water supply and sewerage (St. Petersburg: 2014 TsOP Profession) 1312 p.*
11. Pfister S., Boulay A-M., Berger M. et al. Understanding the LCA and ISO Water Footprint: a response to Hoekstra's (2016) criticism of the suspended water footprint taking into account water scarcity in the LCA. 2017. *Ecological Index* 72: 352–359.
12. Samburskiy G.A., Pestov S.A. *Tekhnologicheskie i organizacionnye aspekty processov polucheniya vody pit'evogo kachestva* [Technological and organizational aspects of the processes of obtaining drinking quality water]. Moscow: Izdatel'skie resheniya. 2017. 184 p.
13. Boulay A-M. et al. The WULCA consensus characterization model for water scarcity footprints: assessing impacts of water consumption based on available water remaining. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 2017. Vol. 23 (2), <http://doi.org/10.1007/s11367-017-1333-8>

УДК 699.887

DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-48-53>

А.В. КАЛАЙДО<sup>1</sup>, канд. техн. наук (kalaydo18@mail.ru);  
В.И. РИМШИН<sup>1,2</sup>, д-р техн. наук (v.rimshin@niisf.ru);  
М.Н. СЕМЕНОВА<sup>1</sup>, инженер (lor267gg@yandex.ru)

<sup>1</sup> Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)

<sup>2</sup> Московский государственный строительный университет (129337, г. Москва, Ярославское ш., 26)

## Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания

Присутствие радона в жилых и служебных помещениях представляет серьезную проблему, так как существенный ущерб коллективному здоровью населения достигается крайне малыми концентрациями этого радиоактивного газа. Содержание радона в воздухе помещений ограничивается на законодательном уровне. Рекомендациями международных организаций (МАГАТЭ, ВОЗ, Международная комиссия по радиологической защите) устанавливаются приемлемые дозы облучения радоном, на основании которых каждое государство утверждает собственные национальные контрольные уровни. Обеспечение непревышения законодательно закрепленных уровней радона в воздухе помещений возможно только за счет ограничения его поступления из основного источника. В подавляющем большинстве случаев таким источником выступает грунт под зданием. Уровни радона в помещениях нижнего этажа на 90% формируются за счет его поступления из грунта в основании здания. Почвенный газ, содержащий радон в опасных концентрациях, поступает в помещения через неплотности в подземной оболочке здания за счет конвекции и сквозь подземные ограждающие конструкции посредством диффузии. Величина объемной активности радона в воздухе помещения определяется плотностью потока радона с поверхности пола, которая, в свою очередь, зависит от механизма переноса радона из грунта в здания. В статье рассмотрены закономерности формирования радоновой обстановки в помещениях нижнего этажа во всем диапазоне проницаемостей грунтов – основного фактора, определяющего механизм переноса радона в здание, а также установлены границы доминирования каждого из механизмов переноса.

**Ключевые слова:** радон, диффузионный перенос, конвективный перенос, контрольный уровень, проницаемость конструкции пола, радоновая обстановка в помещении.

**Для цитирования:** Калайдо А.В., Римшин В.И., Семенова М.Н. Оценка вкладов диффузионного и конвективного поступления радона в здания // *Жилищное строительство*. 2021. № 7. С. 48–53. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-48-53>

A.V. KALAYDO<sup>1</sup>, Candidate of Sciences (Engineering) (kalaydo18@mail.ru);  
V.I. RIMSHIN<sup>1,2</sup>, Professor, Doctor of Sciences (Engineering) (v.rimshin@niisf.ru);  
M.N. SEMENOVA<sup>1</sup>, Leading Engineer (lor267gg@yandex.ru)

<sup>1</sup> Russian Academy of Architecture and Construction Sciences Research Institute of Building Physics (21, Lokomotivnyi Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)

<sup>2</sup> Moscow State University of Civil Engineering (National Research University) (26, Yaroslavskoye Shosse, Moscow, 1293337, Russian Federation)

### Assessment of the Contributions of Diffusive and Convective Radon Entry Into the Buildings

The radon presence in residential and office premises is a serious problem, because significant damage to the population collective health is achieved by extremely low concentrations of this radioactive gas. The radon concentration in indoor air is limited at the legislative level. The international organizations recommendations (IAEA, WHO, International Commission on Radiological Protection) establish acceptable doses of radon exposure, on its basis each country approves its own national control levels. Ensuring that the legally prescribed levels of indoor radon are not exceeded is possible only by limiting its entry from the main source. In the vast majority of cases, such a source is the soil under the building. Radon levels in the lower floor rooms are formed by 90% due to its entry from the soil base of the building. Soil gas containing radon in dangerous concentrations enters the premises through leaks in the underground shell of the building due to convection and through underground walling by means of diffusion. The value of radon concentration in the indoor air is determined by the radon flux density from the floor surface, which, in turn, depends on the mechanism of radon transport from the soil into the buildings. The article considers the regularities of the radon situation formation in the lower floor rooms in the entire range of soil permeability – the main factor determining the mechanism of radon transport into the building, and also establishes the boundaries of each transport mechanisms dominance.

**Keywords:** radon, diffusive transport, convective transport, control levels, walling permeability, radon situation in premise.

**For citation:** Kalaydo A.V., Rimshin V.I., Semenova M.N. Assessment of the contributions of diffusive and convective radon entry into the buildings. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2021. No. 7, pp. 48–53. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2021-7-48-53>

Радон – радиоактивный газ без цвета и запаха, повсеместно образующийся в грунтах из материнского радия. Присутствие радона в жилых и служебных помещениях представляет серьезную проблему, поскольку относящийся к канцерогенам группы А радон является второй из причин (после курения) возникновения рака легких у населения и главной причиной данной онкологии у некурящих. Облучение радоном и продуктами его распада ежегодно вызывает около 21 тыс. смертей в США [1], более 2 тыс. смертей в Англии [2]; в Москве среднее расчетное число дополнительных случаев рака легкого, индуцированных радоном, оценивается в 242 случая в год [3–4].

Специфической особенностью радоновой экспозиции является тот факт, что существенный ущерб коллективному здоровью населения достигается крайне малыми концентрациями данного радиоактивного газа. Так, при объемной активности радона в 400 000 Бк/м<sup>3</sup>, характерной для урановых шахт, его содержание в воздухе составляет всего лишь 7,6·10<sup>-13</sup>%. Регистрация столь малых масс невозможна, поэтому для оценки концентрации радона в воздухе помещений используется его *объемная активность* (ОА, Бк/м<sup>3</sup>) – число распадов атомов радона в единице объема за единицу времени.

Содержание радона в воздухе помещений ограничивается на законодательном уровне: рекомендациями международных организаций (МАГАТЭ, ВОЗ, Международная комиссия по радиологической защите) устанавливаются приемлемые дозы облучения радоном, на основании которых каждое государство утверждает собственные национальные контрольные

уровни исходя из социально-экономических условий и геофизических особенностей территории. Так, нормами безопасности МАГАТЭ предписывается обеспечение и удержание объемной активности <sup>222</sup>Rn на разумно достижимом низком уровне, не превышающем 1000 Бк/м<sup>3</sup> [5], а ВОЗ декларирует стремление к обеспечению эталонной объемной активности радона в зданиях, равной 100 Бк/м<sup>3</sup> [6]. В настоящее время национальный гигиенический норматив для радона в США составляет 150 Бк/м<sup>3</sup> [1], в Германии и Великобритании – 200 Бк/м<sup>3</sup>; в Хорватии – 68 Бк/м<sup>3</sup> [7–9]. С совершенствованием технологий строительства значения данных уровней имеют тенденцию к снижению.

Еще одна особенность облучения радоном состоит в том, что всего 2% общей дозы приходится на распад в органах дыхания самого радона-222, а основную дозу человек получает от его дочерних продуктов распада (рис. 1).

При распаде радона первым образуется его дочерний продукт <sup>218</sup>Po, атомы которого взаимодействуют с примесями воздуха и парами воды, формируя кластеры размером от 0,5 до 3 нм или присоединяясь к аэрозольным частицам. Значительная часть этих кластеров и аэрозолей осаждаются в дыхательных путях легких и, не успевая вывестись из-за малого периода полураспада ( $T_{1/2}=3,05$  мин), повреждает легочные ткани при распаде трех остальных короткоживущих дочерних продуктов.

Поскольку непосредственное воздействие на организм оказывается не радоном, а дочерними продуктами распада (ДПР), с практической точки зрения целесообразно измерение именно их активности в воздухе помещения. В этом случае количественной характеристикой выступает *эквивалентная равновесная объемная активность* (ЭРОА) дочерних продуктов распада – объемная активность газообразного радона в равновесии с его короткоживущими ДПР, имеющей такую же удельную потенциальную энергию альфа-излучения, как и данная неравновесная смесь.

Величина ЭРОА используется при измерении и нормировании уровней радона в России и республиках бывшего СССР, она служит мерой текущего значения суммарной активности неравновесной смеси ДПР в воздухе и связана с объемной активностью радона соотношением:

$$\text{ЭРОА} = \text{ОА} \cdot F, \quad (1)$$

где  $F$  – коэффициент сдвига радиоактивного равновесия между радоном и смесью его короткоживущих ДПР.

Величина данного коэффициента находится в интервале  $0 \leq F \leq 1$  и зависит от ряда факторов, определяющих скорость удаления дочерних продуктов радона из воздуха помещения. Если измерить  $F$  не

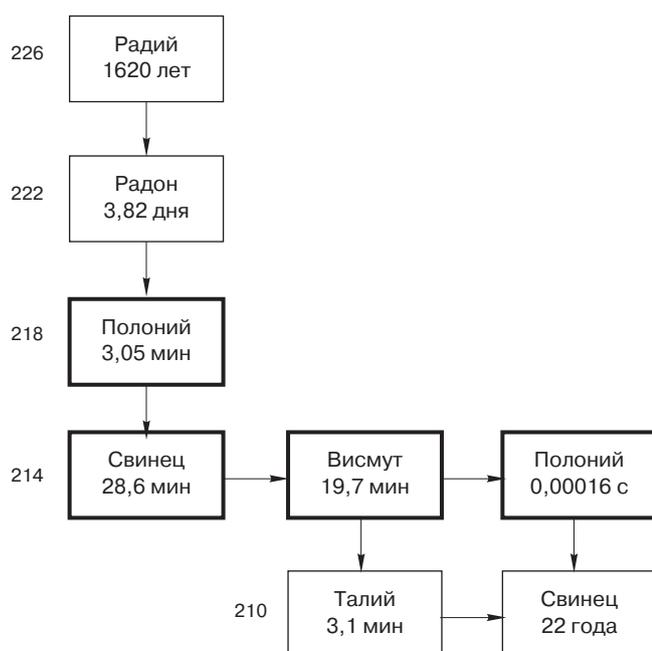


Рис. 1. Дочерние продукты распада радона-222  
Fig. 1. Progeny of radon-222

представляется возможным, то его следует принять равным 0,4 согласно Рекомендациям МКРЗ [10], что далеко не всегда справедливо.

Нормами радиационной безопасности в РФ установлен двухуровневый норматив содержания радона в воздухе жилых и служебных помещений: среднегодовая величина ЭРОА в существующих зданиях не должна превышать 200 Бк/м<sup>3</sup>, а в строящихся и построенных по современным технологиям – 100 Бк/м<sup>3</sup> [11]. При невозможности снижения ЭРОА до 400 Бк/м<sup>3</sup> (приблизительно 1000 Бк/м<sup>3</sup> ОА) рекомендуется перепрофилирование данного объекта в здание без длительного пребывания людей.

Использование двух количественных характеристик содержания радона в воздухе, имеющих одинаковую единицу измерения и не имеющих однозначного перехода от одной к другой, создает определенные сложности отечественным исследователям. По этой причине рядом исследователей отмечается необходимость согласования российского и европейского подходов к оценке содержания радона в воздухе помещений [12].

Обеспечение непревышения законодательно закрепленных уровней радона в воздухе помещений возможно только за счет ограничения его поступления из основного источника. В подавляющем большинстве случаев таким источником выступает грунт под зданием, из которого в воздух помещений проникает более 90% радона [13–15]. Эффективность радонозащитных мер максимальна, если они реализуются в непосредственной близости от источника радона, поэтому общая радонобезопасность здания определяется конструкцией пола и свойствами используемых материалов.

Поступление радона в здания представляет собой сложный процесс, на который оказывают влияние особенности конструкции подземной оболочки здания, физико-механические свойства грунта и климатические параметры, причем часть этих факторов находится в непрерывном изменении. В результате мгновенное состояние системы «грунт–атмосфера–здание» определяет величину потока радона из грунта в воздух помещений нижнего этажа.

Несмотря на многофакторность процесса формирования радоновой обстановки в здании, ключевым моментом является определение доминирующего механизма переноса радона через подземные горизонтальные ограждающие конструкции. Перенос радона может осуществляться посредством диффузии и конвекции, при этом конвекция обеспечивает поступление значительно больших объемов радона в помещение, но для ее реализации необходимо наличие воздушных зазоров в подземной оболочке здания [16]. Напротив, диффузионный перенос имеет место даже при полностью герметичной оболочке здания.

Важность идентификации доминирующего механизма переноса радона состоит в том, что для каждого из них необходим собственный комплекс радонозащитных мероприятий. Для снижения конвективного поступления применяется герметизация подземной оболочки здания заделкой стыков и швов, а также мест ввода коммуникаций. Для уменьшения диффузионного потока радона данные мероприятия неэффективны, в данном случае необходимо использование в конструкции пола материалов с низким значением коэффициента диффузии радона в них [17].

Диффузионный перенос радона через подземные ограждающие конструкции вызывается разностью его концентраций в грунтовом массиве и воздухе помещения, плотность диффузионного потока определяется из закона Фика:

$$q_{диф} = D_{эф} \cdot \frac{\partial A}{\partial z}, \quad (2)$$

где  $D_{эф}$  – эффективный коэффициент диффузии радона в слое фундамента, м<sup>2</sup>/с;  $A$  – объемная активность (концентрация) радона, Бк/м<sup>3</sup>.

Объемная активность радона в воздухе помещений (десятки–сотни Бк/м<sup>3</sup>) пренебрежимо мала по сравнению с его активностью в почвенном воздухе, составляющей обычно 30000–50000 Бк/м<sup>3</sup> для средних по содержанию радия грунтов, поэтому при расчетах она часто полагается равной нулю. Тогда величина градиента концентраций радона может быть выражена через максимальную объемную активность радона в грунтовом воздухе:

$$\frac{\partial A}{\partial z} \approx \frac{A_{max}}{h}, \quad (3)$$

где  $h$  – глубина, на которой достигается максимальная концентрация радона в грунте (обычно 3–5 м), м.

Конвективный поток радона вызван градиентом давлений по глубине грунта, находящимся в диапазоне от 0,1 до 2 Па/м [18], его плотность определяется законом Дарси:

$$q_{кон} = \frac{k}{\mu} \cdot \frac{\partial P}{\partial z} \cdot A, \quad (4)$$

где  $k$  – проницаемость грунта, м<sup>2</sup>;  $\mu=1,8 \cdot 10^{-5}$  Па·с – динамическая вязкость почвенного идеального газа;  $P$  – давление воздуха, Па.

В формулах (2) и (4) коэффициентами пропорциональности выступают характеристики грунта – коэффициент диффузии радона  $D_{эф}$  и проницаемость  $k$ . Величина эффективного коэффициента диффузии радона находится в пределах от 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с для гравийных почв до 10<sup>-7</sup> м<sup>2</sup>/с для плотных глин, тогда как проницаемость грунтов изменяется от 10<sup>-9</sup> м<sup>2</sup> для гравия до 10<sup>-14</sup> м<sup>2</sup> для плотных глин, хотя почвы с проницаемостью выше 10<sup>-10</sup> м<sup>2</sup> достаточно редки [19]. Для материала ограждающих конструкций (бетона) средние значения эффективного коэффициента диффу-

зии и проницаемости составляют  $(3-5) \cdot 10^{-8}$  м<sup>2</sup>/с и  $(0,5-1) \cdot 10^{-15}$  м<sup>2</sup> соответственно [20]. Как видно, проницаемость конструкции пола имеет наибольший диапазон изменения и потому является главным параметром, определяющим механизм поступления радона в здание.

На рис. 2 показано изменение плотностей диффузионного и конвективного потоков радона из грунта в здание при различных проницаемостях конструкции пола. Максимальная величина объемной активности радона в грунте определялась по формуле:

$$A_{\max} = C_{Ra} \cdot \rho_z \cdot k_{эм} \quad (5)$$

где  $C_{Ra}$  – удельная активность радия в грунте, Бк/кг;  $\rho_z = 2700$  кг/м<sup>3</sup> – плотность твердой фазы (зерен) грунта;  $k_{эм}$  – коэффициент эманирования радона грунтом.

При определении плотности диффузионного потока радона (кривая 1) коэффициент диффузии принимался равным  $D_{эф} = 2 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с, удельная активность радия  $C_{Ra} = 30$  Бк/кг и коэффициент эманирования  $k_{эм} = 0,3$ . Также считалось, что максимальная активность радона достигается на глубине  $h = 3$  м, это характерно для глинистых почв, как и приведенные выше значения параметров переноса. Расчет плотности конвективного потока выполнялся для двух значений градиентов давлений – 0,5 и 1,5 Па/м.

На рис. 2 можно выделить три области поступления радона в здание:

– область I – чисто диффузионное поступление, которое имеет место при проницаемостях не более  $10^{-12}$  м<sup>2</sup>, характерных для бетонных плит основания или земляных полов без фундаментной плиты, образованных плотными глинистыми грунтами;

– область II – конвективно-диффузионное поступление, соответствующее интервалу проницаемостей от  $10^{-12}$  до  $(2-4) \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup>. Данные проницаемости соответствуют конструкции пола в виде плавающей плиты с воздушным зазором по периметру помещения или дефектному состоянию плиты основания (сквозные трещины);

– область III – чисто конвективное поступление радона при проницаемостях  $5 \cdot 10^{-11}$  м<sup>2</sup> и выше. На практике данный диапазон проницаемостей конструкции пола реализуется крайне редко.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что для подавляющего большинства зданий поступление радона в помещения нижнего этажа носит диффузионный или конвективно-диффузионный характер, т. е. учет диффузионной составляющей является

### Список литературы

1. Reducing Radon in New Construction of 1 and 2 Family Dwellings and Townhouses (ССАН-2020). AARST Consortium on national radon standards. 33 p.

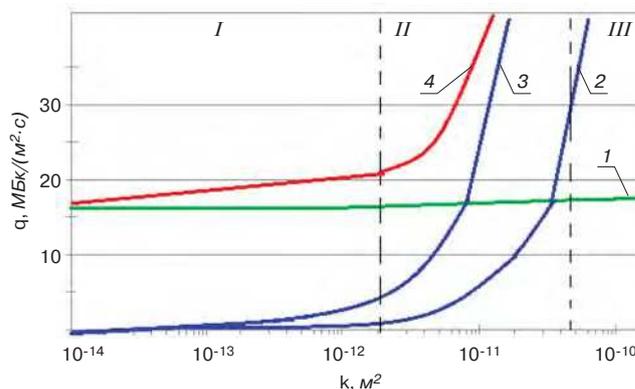


Рис. 2. Зависимость плотности потока радона из грунта в здание от проницаемости конструкции пола: 1 – диффузионный поток; 2 – конвективный поток при grad P=0,5 Па/м; 3 – конвективный поток при grad P=1,5 Па/м; 4 – суммарный поток радона при grad P=1,5 Па/м

Fig. 2. Dependence of the radon flux density from the soil to the building on the floor structure permeability: 1 – diffusion flux; 2 – convective flux at grad P=0.5 Pa/m; 3 – convective flux at grad P=1.5 Pa/m; 4 – total radon flux at grad P=1.5 Pa/m

обязательным. В отличие от конвективного потока диффузионное поступление практически не зависит от проницаемости конструкции пола. Незначительное его увеличение на рис. 2 при проницаемости выше  $10^{-12}$  м<sup>2</sup> связано с ростом коэффициента диффузии при переходе к менее плотным грунтам или наличием воздушных зазоров в подземных ограждающих конструкциях. В последнем случае целесообразна замена эффективного коэффициента диффузии радона эквивалентным, учитывающим площадь воздушных зазоров:

$$D_{э\text{кв}} = \frac{D_в \cdot S_n + D_{эф} \cdot (S_{пол} - S_n)}{S_{пол}}, \quad (6)$$

где  $D_в$  – объемный коэффициент диффузии радона в воздухе, м<sup>2</sup>/с;  $D_{эф}$  – эффективный коэффициент диффузии радона в материале ограждающей конструкции (бетоне), м<sup>2</sup>/с;  $S_{пол}$  – общая площадь внутренней поверхности пола, м<sup>2</sup>;  $S_n$  – площадь неплотностей (трещин и зазоров) в конструкции пола, м<sup>2</sup>.

Таким образом, проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы.

1. Проницаемость конструкции пола является главным фактором, определяющим интенсивность поступления радона в помещения нижнего этажа.

2. Обеспечение приемлемых уровней радона в зданиях возможно за счет исключения его конвективного поступления из грунта. Для этого проницаемость конструкции пола не должна превышать  $10^{-12}$  м<sup>2</sup>.

### References

1. Reducing Radon in New Construction of 1 and 2 Family Dwellings and Townhouses (ССАН-2020). AARST Consortium on national radon standards. 33 p.

2. Darby S., Hill D., Doll R. Radon: A likely carcinogen at all exposures // *Annals of Oncology*. 2001. № 12, pp. 1341–1351.
3. Рогалис В.С. Вклад радона и среды обитания человека в формирование радиоэкологической обстановки в г. Москве // *Геофизический вестник*. 2008. № 6. С. 14–16.
4. Польский О.Г., Варшавский Ю.В., Вербов В.В. Система обеспечения радиационной безопасности населения московского мегаполиса // *Медицина труда и промышленная экология*. 2006. № 2. С. 4–11.
5. Radiation Protection and Safety of Radiation Sources: International Basic Safety Standards. IAEA Safety Standards for protecting people and the environment. Vienna, 2014. 471 p.
6. World Health Organization, WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, WHO. Geneva, 2009. 94 p.
7. Darby S., Deo H., Doll R. A parallel analysis of individual and ecological data on residential radon and lung cancer in south-west England // *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*. 2001. Vol. 164. Iss. 1, pp. 205–207. <https://doi.org/10.1111/1467-985X.00196>
8. Beck T.R. Risks and radiation doses due to residential radon in Germany // *Radiation Protection Dosimetry*. 2017. Vol. 175 (4), pp. 466–472. DOI: 10.1093/rpd/ncw374
9. Radolich V., Miklavchich I., Stanich D. Identification and mapping of radon-prone areas in Croatia – preliminary results for Lika-Senj and the southern part of Karlovac counties // *Radiation Protection Dosimetry*. 2014. Vol. 162 (1–2), pp. 29–33. DOI: 10.1093/rpd/ncu212
10. ICRP: Protection against radon-222 at home and work. International Commission on Radiological Protection Publication 65. Pergamon, 1994. 89 p.
11. Нормы радиационной безопасности (НРБ-99/2009): (Ионизирующее излучение, радиационная безопасность СП 2.6.1.2523–09): зарегистрирован 14 августа 2009 г. Регистрационный № 14534. М.: Минюст России, 2009. 225 с.
12. Ярмошенко И.В., Онищенко А.Д., Жуковский М.В. Проблемы оптимизации защиты от радона и введения референтного уровня в Российской Федерации // *Радиационная гигиена*. 2014. Т. 7. № 4. С. 67–71.
13. Wang F., Ward I.C. The development of a radon entry model for a house with a cellar // *Building and Environment*. 2000. Vol. 35, pp. 615–631. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00052-9)
14. Vasilyev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Low air exchange rate causes high indoor radon concentration in energy-efficient buildings // *Radiation Protection Dosimetry*. 2015. Vol. 164–4, pp. 601–605. DOI: 10.1093/rpd/ncv319
2. Darby S., Hill D., Doll R. Radon: A likely carcinogen at all exposures. *Annals of Oncology*. 2001. No. 12, pp. 1341–1351.
3. Regalis V.S. the Contribution of radon and human environment in the formation of radio-ecological situation in Moscow. *Geofizicheskij vestnik*. 2008. No. 6, pp. 14–16. (In Russian).
4. Palsky O.G., Varshavsky Yu.V., Verbov V.V. System of ensuring radiation safety of the population of the Moscow megapolis. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2006. No. 2, pp. 4–11. (In Russian).
5. Radiation protection and safety of radiation sources: International basic safety standards. IAEA safety standards for the protection of people and the environment. Vienna, 2014. 471 p.
6. World Health Organization. WHO Guidelines on Indoor Radon: public Health perspectives. WHO. Geneva. 2009. 94 p.
7. Darby S., Deo H., Doll R. The Parallel analysis of individual and environmental data on domestic radon and lung cancer in the South West of England. *Journal of the Royal Statistical Society: Series A (Statistics in Society)*. 2001. Vol. 164. Iss. 1, pp. 205–207. <https://doi.org/10.1111/1467-985X.00196>
8. Beck T.R. Risk and radiation dose associated with household radon in Germany. *Radiation protection dosimetry*. 2017. Vol. 175 (4), pp. 466–472. DOI: 10.1093/rpd/ncw374
9. Radolich V., Miklavchich I., Stanich D. Identification and mapping of radon-affected areas in Croatia-preliminary results for Lika Seni and the southern part of the Karlovac counties. *Radiation protection dosimetry*. 2014. Vol. 162 (1–2), pp. 29–33. DOI: 10.1093/rpd/ncu212
10. MKRZ: Protection from radon-222 at home and at work. Publication of the International Commission on Radiological Protection 65. Pergamon, 1994. 89 p.
11. Radiation safety standards (NRB-99/2009): (Ionizing radiation, radiation safety SP 2.6.1.2523-09): registered on August 14, 2009. Registration number 14534. Moscow: Ministry of Justice of Russia, 2009. 225 p.
12. Yarmoshenko I.V., Onishchenko A.D., Zhukovsky M.V. Problems of optimizing radon protection and the introduction of a reference level in the Russian Federation. *Radiacionnaya gigiena*. 2014. Vol. 7. No. 4, pp. 67–71. (In Russian).
13. Wang F., Ward I.C. The development of a radon entry model for a house with a cellar. *Building and Environment*. 2000. Vol. 35, pp. 615–631. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(99\)00052-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(99)00052-9)
14. Vasiliev A.V., Yarmoshenko I.V., Zhukovsky M.V. Low air exchange rate causes a high concentration of radon in the premises of energy-efficient buildings. *Radiation protection dosimetry*. 2015. Vol. 164–4, pp. 601–605. DOI: 10.1093/rpd/ncv319

15. Bakaeva N.V., Kalaydo A.V. Analytical model for calculation the radon-protective characteristics of underground walling // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. № 456, 012102. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012102.
16. Diallo T., Collignan B., Allard F. 2D Semi-empirical models for predicting the entry of soil gas pollutants into buildings // *Building and Environment*. 2015. № 85, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.013>
17. Гулябянц Л.А. Пособие по проектированию противорадоновой защиты жилых и общественных зданий. М.: НО «ФЭН-НАУКА», 2013. 52 с.
18. Kojima H., Nagano K. Dependence of barometric pressure, wind velocity and temperature on the variation of radon exhalation // *Proceedings of the 2000 International Radon Symposium*. 2000. NJ III, pp. 6.1–6.11.
19. Andersen S.E. Numerical modeling of radon-222 penetration into homes: a brief description of methods and results. *The Science of the Total Environment*. 2001. Vol. 272, pp. 33–42. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00662-3
20. Jiranek M., Svoboda Z. Numerical modelling as a tool for optimisation of sub-slab system design // *Building and Environment*. 2007. No. 42, pp. 1994–2003.
21. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of using composite materials for strengthening constructions // *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365 (3). 032053 DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032053
22. Ларионов Е.А., Римшин В.И., Василькова Н.Т. Энергетический метод оценки устойчивости сжатых железобетонных элементов // *Строительная механика инженерных конструкций и сооружений*. 2012. № 2. С. 77–81.
23. Римшин В.И., Галубка А.И., Синютин А.В. Инженерный метод расчета усиления железобетонных плит покрытия композитной арматурой // *Научно-технический вестник Поволжья*. 2014. № 3. С. 218–220.
24. Мосаков Б.С., Курбатов В.Л., Римшин В.И. Основы технологической механики тяжелых бетонов. Минеральные Воды: Белгородский гос. технологический ун-т им. В.Г. Шухова, Северо-Кавказский фил., 2017. 209 с.
25. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The general theory of degradation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 2. 022028.
26. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoi S.Y. The modulus of elasticity in the theory of degradation // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 2.022029.
27. Karpenko N.I., Eryshev V.A., Rimshin V.I. The limiting values of moments and deformations ratio in strength calculations using specified material diagrams // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 3. 032024.
15. Bakaeva N.V., Kalaido A.V. Analytical model for calculating radon-protective characteristics of underground enclosing structures. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. No. 456, 012102. doi:10.1088/1757-899X/456/1/012102
16. Diallo T., Collignan B., Allard F. 2D semi-empirical models for predicting the ingress of soil gas pollutants into buildings. *Building and Environment*. 2015. No. 85, p. 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2014.11.013>
17. Gulabyants L.A. Manual on the design of anti-tornado protection of residential and public buildings. Moscow: NO “FAN-NAUKA”, 2013. 52 p.
18. Kojima H., Nagano K. Dependence of barometric pressure, wind speed and temperature on changes in radon exhalation. *Proceedings of the International Symposium on Radon 2000*. 2000. New Jersey III, pp. 6.1–6.11.
19. Andersen S.E. Numerical modeling of radon-222 penetration into homes: a brief description of methods and results. *The Science of the Total Environment*. 2001. Vol. 272, pp. 33–42. DOI: 10.1016/S0048-9697(01)00662-3
20. Jiranek M., Svoboda Z. Numerical modeling as a tool for optimizing the design of overlap systems. *Building and Environment*. 2007. No. 42, pp. 1994–2003.
21. Kuzina E., Cherkas A., Rimshin V. Technical aspects of the use of composite materials for strengthening structures. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 365 (3). 032053 DOI: 10.1088/1757-899X/365/3/032053
22. Larionov E.A., Rimshin V.I., Vasilkova N.T. Energy method for assessing the stability of compressed reinforced concrete elements. *Stroitel'naya mekhanika inzhenernykh konstruksiy i sooruzheniy*. 2012. No. 2, pp. 77–81. (In Russian).
23. Rimshin V.I., Galubka A.I., Sinyutin A.V. An engineering method for calculating the reinforcement of reinforced concrete slabs with composite reinforcement. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Povolzh'ya*. 2014. No. 3, pp. 218–220. (In Russian).
24. Mosakov B.S., Kurbatov V.L., Rimshin V.I. Osnovy tekhnologicheskoy mekhaniki tyazhelyh betonov [Fundamentals of technological mechanics of heavy concrete]. *Mineralnye Vody: Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, North Caucasus Phil.*, 2017. 209 p.
25. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoy S.Yu. General theory of degradation. *IOP Conference series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 2. 022028.
26. Varlamov A.A., Rimshin V.I., Tverskoy S.Yu. Modulus of elasticity in the theory of degradation. *IOP Conference series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 2.022029.
27. Karpenko N.I., Yeryshev V.A., Rimshin V.I. Limiting values of the ratio of moments and deformations in strength calculations using specified diagrams of materials. *IOP Conference series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 463. Iss. 3. 032024.

# Как подготовить к публикации научно-техническую статью



Журнальная научно-техническая статья – это сочинение небольшого размера (до пяти журнальных страниц), что само по себе определяет границы изложения темы статьи.

Необходимыми элементами научно-технической статьи являются:

- постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами;
- анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и на которые опирается автор, выделение ранее не решенных частей общей проблемы, которым посвящена статья;
- формулирование целей статьи (постановка задачи);
- изложение основного материала исследования с полным обоснованием полученных результатов;
- выводы из данного исследования и перспективы дальнейшего поиска в избранном направлении.

Научные статьи рецензируются специалистами. Учитывая открытость журнала «Жилищное строительство» для ученых и исследователей многих десятков научных учреждений и вузов России и СНГ, представители которых не все могут быть представлены в редакционном совете издания, желательно представлять одновременно со статьей отношение ученого совета организации, где проведена работа, к представляемому к публикации материалу в виде сопроводительного письма или рекомендации.

**Библиографические списки** цитируемой, использованной литературы должны подтверждать следование автора требованиям к содержанию научной статьи.

## НЕ РЕКОМЕНДУЕТСЯ:

1. Включать ссылки на федеральные законы, подзаконные акты, ГОСТы, СНиПы и др. нормативную литературу. Упоминание нормативных документов, на которые опирается автор в испытаниях, расчетах или аргументации, лучше делать непосредственно по тексту статьи.

2. Ссылаться на учебные и учебно-методические пособия; статьи в материалах конференций и сборниках трудов, которым не присвоен ISBN и которые не попадают в ведущие библиотеки страны и не индексируются в соответствующих базах.

3. Ссылаться на диссертации и авторефераты диссертаций.

4. Самоцитирование, т. е. ссылки только на собственные публикации автора. Такая практика не только нарушает этические нормы, но и приводит к снижению количественных публикационных показателей автора.

## ОБЯЗАТЕЛЬНО следует:

1. Ссылаться на статьи, опубликованные за последние 2–3 года в ведущих отраслевых научно-технических и научных изданиях, на которые опирается автор в построении аргументации или постановке задачи исследования.

2. Ссылаться на монографии, опубликованные за последние пять лет. Более давние источники также негативно влияют на показатели публикационной активности автора.

Несомненно, что возможны ссылки и на классические работы, однако не следует забывать, что наука всегда развивается поступательно вперед и незнание авторами последних достижений в области исследований может привести к дублированию результатов, ошибкам в постановке задачи исследования и интерпретации данных.

**ВНИМАНИЕ! С 1 января 2020 г. изменены требования к оформлению статей. Обязательно ознакомьтесь с требованиями на сайте издательства в разделе «Авторам!»**

Статьи, направляемые для опубликования, должны оформляться в соответствии с техническими требованиями изданий:

- текст статьи должен быть набран в редакторе Microsoft Word и сохранен в формате \*.doc или \*.rtf и не должен содержать иллюстраций;
- графический материал (графики, схемы, чертежи, диаграммы, логотипы и т. п.) должен быть выполнен в графических редакторах: CorelDraw, Adobe Illustrator и сохранен в форматах \*.cdr, \*.ai, \*.eps соответственно. Сканирование графического материала и импорт его в перечисленные выше редакторы недопустимо;
- иллюстративный материал (фотографии, коллажи и т. п.) необходимо сохранять в формате \*.tif, \*.psd, \*.jpg (качество «8 – максимальное») или \*.eps с разрешением не менее 300 dpi, размером не менее 115 мм по ширине, цветовая модель CMYK или Grayscale.

Материал, передаваемый в редакцию в электронном виде, должен сопровождаться: рекомендательным письмом руководителя предприятия (института); лицензионным договором о передаче права на публикацию; **распечаткой, лично подписанной авторами**; рефератом объемом не менее 100 слов на русском и английском языках; подтверждением, что статья предназначена для публикации в журнале «Жилищное строительство», ранее нигде не публиковалась и в настоящее время не передана в другие издания; сведениями об авторах с указанием полностью фамилии, имени, отчества, ученой степени, должности, контактных телефонов, почтового и электронного адресов. Иллюстративный материал должен быть передан в виде оригиналов фотографий, негативов или слайдов, распечатки файлов.

В 2006 г. в журнале «Строительные материалы»<sup>®</sup> был опубликован ряд статей «Начинающему автору», ознакомиться с которыми можно на сайте журнала [www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf](http://www.rifsm.ru/files/avtoru.pdf)

Подробнее можно ознакомиться с требованиями на сайте издательства <http://rifsm.ru/page/7/> или журнала [www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram](http://www.journal-hc.ru/index.php/ru/avtoram)

Организатор конференции



INTERNATIONAL  
ASSOCIATION OF  
FOUNDATION  
CONTRACTORS

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ  
ФУНДАМЕНТОСТРОИТЕЛЕЙ

Официальная поддержка



АО ЦНИИТС



НИЦ строительство  
научно-исследовательский центр

**21-23**  
**СЕНТЯБРЯ**  
2021

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ  
НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКАЯ  
КОНФЕРЕНЦИЯ

**«РОССИЙСКИЕ И ЗАРУБЕЖНЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ  
И СТРОИТЕЛЬСТВА  
МОСТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ»**

МЕСТО ПРОВЕДЕНИЯ:  
МОСКВА, ХОЛИДЕЙ ИНН СУЩЁВСКИЙ  
УЛ. СУЩЕВСКИЙ ВАЛ, 74, 2 ЭТАЖ

Генеральный спонсор  
конференции



Спонсоры конференции



Генеральные информационные партнеры



[www.fc-union.com](http://www.fc-union.com), [info@fc-union.com](mailto:info@fc-union.com)  
+7 (495) 66-55-014, +7 925 57-57-810

# 100+

# TECHNO BUILD

VIII Международный  
строительный форум  
и выставка

[forum-100.ru](http://forum-100.ru)

# ДИАЛОГ РЕГИОНОВ

---

5-7 октября 2021  
Екатеринбург