



Научно-технический журнал  
Издается с 2003 года.  
Выходит шесть раз в год.

**№4 (60) 2015**  
**(июль-август)**

# СТРОИТЕЛЬСТВО И РЕКОНСТРУКЦИЯ

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования  
«Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)

Редакционный совет:

Голенков В.А. д.т.н., проф., председатель  
Радченко С.Ю. д.т.н., проф.,  
зам. председателя  
Борзенков М.И. к.т.н., доц., секретарь  
Астафичев П.А. д.ю.н., проф.  
Иванова Т.Н. д.т.н., проф.  
Киричек А.В. д.т.н., проф.  
Колчунов В.И. д.т.н., проф.  
Константинов И.С. д.т.н., проф.  
Новиков А.Н. д.т.н., проф.  
Попова Л.В. д.э.н., проф.  
Степанов Ю.С. д.т.н., проф.

Главный редактор:

Колчунов В.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.

Заместители главного редактора:

Данилевич Д.В. к.т.н., доц.  
Колесникова Т.Н. д. арх., проф.  
Коробко В.И. д.т.н., проф.

Редколлегия:

Бок Т. д.т.н., проф. (Германия)  
Бондаренко В.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Гордон В.А. д.т.н., проф.  
Емельянов С.Г. советник РААСН, д.т.н., проф.  
Карпенко Н.И. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Клюева Н.В. советник РААСН, д.т.н., проф.  
Коробко А.В. д.т.н., проф.  
Король Е.А. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Рымшин В.И. чл.-корр. РААСН, д.т.н., проф.  
Сергейчук О.В. д.т.н., проф. (Украина)  
Серник И.Н. д.т.н., проф.  
Сикора З. д.т.н., проф. (Польша)  
Тамразян А.Г. д.т.н., проф.  
Тур В.В. д.т.н., проф. (Белоруссия)  
Турков А.В. д.т.н., проф.  
Федоров В.С. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Чернышов Е.М. акад. РААСН, д.т.н., проф.  
Шах Р. д.т.н., проф. (Германия)

Ответственный за выпуск:

Солопов С.В. к.т.н.

Адрес редакции:

302006, Россия, г. Орел,  
ул. Московская, 77  
Тел.: +7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Зарегистрировано в Федеральной службе  
по надзору в сфере связи, информационных  
технологий и массовых коммуникаций.  
Свидетельство:

ПИ № ФС77-47354 от 03 ноября 2011 г.

Подписной индекс 86294 по объединенному  
каталогу «Пресса России»

© ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК», 2015

## Содержание

### Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Борисов Л.А., Градов В.А., Третьяков В.И., Богомолова Л.К.,  
Гузова Э.С., Кривчиков К.В.** Исследование физико-механических  
и акустических характеристик тепло- и звукоизоляционных материалов  
с использованием метода искусственного старения..... 4
- Гусев В.П., Леденев В.И., Матвеева И.В., Яровая Т.С.** Инженерный  
метод расчета шума в пространствах подвесных потолков с воздуховодами  
**Денисов А.В., Рогачев К.В.** Влияние параметров дисперсного  
армирования фибробетона на аналитическое определение его  
термических и радиационных изменений..... 10
- Карпенко Н.И., Мишина А.В., Травуш В.И.** Влияние возраста на физико-  
механические и реологические характеристики высокопрочного  
сталефибробетона..... 16
- Купчикова Н.В.** Предложения по дополнению классификации конструкций  
готовых и набивных свай с поверхностными уширениями и наклонными  
боковыми сваями..... 23
- Козлов В.В., Тишнер-Егорова Т.-Э.А.** Приближенное решение уравнения  
теплопроводности для линейного и точечного теплопроводного  
включения..... 32
- Рынкoвская М.И.** Влияние значения коэффициента пуассона на  
точность результатов расчета НДС торса-геликоида..... 42
- Чернов К.М.** Приложение объединенной теории прочности к расчету  
железобетонных составных конструкций в пролете среза..... 51
- Штунцайгер И.Е., Денисов А.С., Лысов Д.А., Кугачев А.И.,  
Слободенюк А.О.** Практический опыт устройства стационарных  
автоматизированных систем мониторинга строительных конструкций на  
олимпийских объектах в городе Сочи..... 57
- ..... 67

### Безопасность зданий и сооружений

- Клюева Н.В., Андросова Н.Б.** Некоторые предложения для конструктивной  
защиты зданий и сооружений от прогрессирующего разрушения..... 72
- Пономарев О.И., Минасян А.А.** Энергетические критерии устойчивости  
многоэтажных зданий и высотных сооружений при аварийных нагрузках. 79

### Архитектура и градостроительство

- Гребенкин А.М., Гребенкина Е.В., Шубин И.Л.** Критерии оценки  
последствий интеграции шумозащитных сооружений в городскую среду.. 87
- Земцов В.А.** Методы расчета естественного освещения помещений со  
световыми кондиционерами на основе применения пространственных  
характеристик фонарей..... 92
- Ланэ М.Ю., Кравчун П.Н.** О применении разных типов испытательных  
сигналов при акустических измерениях в зрелищных залах..... 100
- Лешко М.Ю., Сидорина А.В.** Практические решения защиты зданий  
и территорий застройки от шума систем ОВК..... 106

Журнал «Строительство и реконструкция» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора технических наук.

<b>Николов Н.Д., Трапов Г.И., Шубин И.Л., Маждраков М.Г., Бенев Д.М.</b> Акустическое проектирование с использованием теории квазицилиндрических звуковых волн.....	113
<b>Овсянников С.Н., Большанина Т.С.</b> Климатические возможности применения шумозащитных экранов в условиях Сибири.....	119
<b>Савин В.К., Савина Н.В.</b> Архитектура и энергоэффективность окна.....	124
<b>Скобелева Е.А.</b> Анализ предложений к оценке микроклимата экологически безопасной и комфортной городской среды.....	131
<b>Цукерников И.Е., Тихомиров Л.А., Щурова Н.Е., Невенчанная Т.А.</b> Расчет ожидаемых уровней шума и оценка эффективности шумозащитных мероприятий для жилого дома, расположенного вблизи трассы М-1 «Беларусь».....	141
<b>Шмаров И.А., Козлов В.А.</b> К вопросу о влиянии рекламных щитов с цифровой сменой изображения на прилегающую жилую застройку.....	146

### **Строительные материалы и технологии**

<b>Гагарин В.Г., Пастушков П.П., Реутова Н.А.</b> К вопросу о назначении расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции....	152
<b>Гусев В.П., Лешко М.Ю.</b> Шум фэнкойлов и опыт его снижения в гостиничных номерах.....	156
<b>Лепидус А.А., Говоруха П.А.</b> Комплексный организационно-технологический показатель эффективности устройства ограждающих конструкций.....	163
<b>Пастушков П.П., Павленко Н.В., Коркина Е.В.</b> Использование расчетного определения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов.	168
<b>Пупырев Е.И.</b> Решение задач проектирования энергоэффективных сооружений очистки воды.....	173
<b>Халимова Н.М., Верещагина Е.А., Бабицкая Е.А.</b> Особенности мотивации к теплоэнергосбережению у населения в региональном аспекте (на примере республики Хакасия).....	183



Scientific and technical journal  
The journal is published since 2003.  
The journal is published 6 times a year.

**№4 (60) 2015**  
**(July-August)**

# BUILDING AND RECONSTRUCTION

The founder – federal state budgetary educational institution of the higher vocational training  
«State University – Educational-Science-Production Complex»  
(State University ESPC)

## Editorial council:

**Golenkov V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
president  
**Radchenko S.Y.** Doc. Sc. Tech., Prof.,  
vice-president  
**Borzenkov M.I.** Candidat Sc. Tech.,  
Assistant Prof.  
**Astafichev P.A.** Doc. Sc. Law., Prof.  
**Ivanova T.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kirichuk A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Konstantinov I.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Novikov A.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Popova L.V.** Doc. Ec. Tech., Prof.  
**Stepanov Y.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editor-in-chief

**Kolchunov V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editor-in-chief assistants:

**Danilevich D.V.** Candidat Sc. Tech., Assis-  
tant Prof.  
**Kolesnikova T.N.** Doc. Arc., Prof.  
**Korobko V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.

## Editorial committee

**Bock T.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)  
**Bondarenko V.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Gordon V.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Emelyanov S.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Karpenko N.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Kljueva N.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Korobko A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Korol E.A.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Rimshin V.I.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Sergeychuk O.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Ukraine)  
**Serpik I.N.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Sikora Z.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Poland)  
**Tamrazyan A.G.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Tur V.V.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Belorussia)  
**Turkov A.V.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Fyodorov V.S.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Chernyshov E.M.** Doc. Sc. Tech., Prof.  
**Schach R.** Doc. Sc. Tech., Prof. (Germany)

## Responsible for edition:

**Solopov S.V.** Candidat Sc. Tech

The edition address: 302006, Orel,  
Street Moscow, 77  
+7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: oantc@ostu.ru

Journal is registered in Russian federal service  
for monitoring communications, information  
technology and mass communications  
The certificate of registration:  
ПН № ФС77-47354 firm 03.04.11 r.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»  
86294

© State University ESPC, 2015

## Contents

### Theory of engineering structures. Building units

- Borisov L., Gradov V., Tretyakov V., Bogomolova L., Guzova E., Krivchikov K.** Research of physical, mechanical and acoustic characteristics of heatproof and soundproof materials with using the artificial aging method... 4  
**Gusev V., Ledenev V., Matveeva I., Yarovaya T.** Engineering method of the noise calculation for the false ceiling spaces with air-ducts..... 10  
**Denisov A., Rogachev K.** Influence of the disperse reinforcement parameters of fiber-reinforced concrete to the analytical determination of thermal and radiation changes..... 16  
**Karpenko N., Mishina A., Travush V.** The age influence to the physical, mechanical and rheological characteristics of high-strength steel-fiber-concrete.... 23  
**Kupchikova N.** Proposals to supplement the classification of structures and finished with surface piles broadening and inclined side piles..... 32  
**Kozlov V., Tischner-Egorova T.-E.** Approximate solution of the heat equation for line and point heat-conducting inclusions..... 42  
**Rynkovskaya M.** The influence of the values of poisson's ratio on the accuracy of the results of calculation of stress-strain state of the torso-helix..... 51  
**Chernov K.** The application of the joint strength theory for reinforced concrete composite structures in the span of the slice..... 57  
**Stuntsaiger I., Lysov D., Denisov A., Slobodenyuk A., Kugachev A.** Device practice of stationary automated monitoring systems of constructions on the olympic sites in Sochi..... 67

### Building and structure safety

- Klueva N., Androsova N.** Some proposals for structural protection of buildings and structures from progressive failure..... 72  
**Ponomarev O., Minasyan A.** Energy sustainability criteria of multi-storey buildings and high-rise buildings in case of emergency loads..... 79

### Architecture and town-planning

- Grebenkin A., Grebenkin E., Shubin I.** Criteria for assessing the effects of integration of noise protection structures in the urban environment..... 87  
**Zemtsov V.** Methods of calculation of natural lighting areas with light air-conditioning on the basis of spatial characteristics of lights..... 92  
**Lannie M., Kravchun P.** About the different types of test signals during acoustic measurements in the spectacular halls..... 100  
**Leshko M., Sidorina A.** Practical solutions to protect buildings and areas of construction noise HVAC..... 106  
**Nikolov N., Trapov G., Shubin I., Mazhdrakov M., Benov D.** Acoustic design using the theory of quasicylindrical sound waves..... 113  
**Ovsiannikov S., Bolshanina T.** Climatic possibilities of application of acoustic screens in the conditions of Siberia..... 119  
**Savin V., Savina N.** The architecture and the energy efficiency of the window  
**Skobeleva E.** Analysis of the proposals to the assessment of climate ecological safety and comfortable urban environment..... 131  
**Tsukernuikov I., Tikhomirov L., Shchurova N., Nevenchannaya T.** Calculation of expected noise levels and efficiency assesment of noise protection measures for residential houses located near the road M-1 «Belarus»..... 141  
**Shmarov I., Kozlov V.** To the question about the impact of billboards with digital image change on adjacent residential development..... 146

### Construction materials and technologies

- Gagarin V., Pastushkov P., Reutova N.** Usage of calculated definition of the operating humidity of thermal insulation materials..... 152  
**Gusev V., Leshko M.** Noise fancoil and experience of its decrease in hotel rooms.. 156  
**Lapidus A., Govorukha P.** Complex organizational and technological efficiency indicator device walling..... 163  
**Pastushkov P., Pavlenko N., Korkina E.** The use of a nominal definition operational humidity insulation materials..... 168  
**Pupyrev E.** The task of designing energy efficient buildings water treatment.. 173  
**Halimova N., Veretschagina E., Babitskaya E.** The research of the motivation of the population towards the heat and energy economy..... 183

УДК 691.175

БОРИСОВ Л.А., ГРАДОВ В.А., ТРЕТЬЯКОВ В.И.,  
БОГОМОЛОВА Л.К., ГУЗОВА Э.С., КРИВЧИКОВ К.В.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ  
И АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕПЛО-  
И ЗВУКОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА ИСКУССТВЕННОГО  
СТАРЕНИЯ**

*Проведены исследования физико-механических и акустических свойств тепло- и звукоизоляционного материала из вспененного полипропилена марки «Стенофон НПП» типов А/06 и А/10 производства ООО «Полифас». На основе анализа температурного режима эксплуатации вспененных материалов сделан расчет режима их искусственного старения. Испытания проведены для образцов материала не подвергнутых искусственному старению и после старения на 50 условных годов эксплуатации (УГЭ). Приведены результаты оценки показателей долговечности: водопоглощения по объему, условной прочности при разрыве по длине, относительного удлинения при разрыве по длине, предела прочности при сжатии при 10% линейной деформации; и динамических характеристик: динамических модулей упругости при нагрузке 2000 Па и 5000 Па, коэффициента относительного сжатия при нагрузке 2000 Па, индекса улучшения изоляции ударного шума «плавающей стяжкой». Сделан вывод, что применение данного материала обеспечивает выполнение нормативных требований изоляции ударного шума в течение длительного срока эксплуатации, эквивалентного 50 УГЭ.*

***Ключевые слова:** вспененный пенопропилен, акустические характеристики, долговечность, физико-механические свойства.*

При выборе изоляционного материала строителям и проектировщикам приходится учитывать множество различных факторов: технические характеристики и долговечность эксплуатации, гигиеническую и экологическую безопасность, стоимость материала, трудозатраты и легкость монтажа. В последнее время в строительном мире достаточно широкое применение получили изделия из химических сшитых вспененных полиэтиленов и полипропиленов. Чаще всего их используют в качестве вибродемпфирующей прокладки в конструкциях «плавающих полов» в жилых и общественных зданиях с целью улучшения изоляции от шума.

Строительной практикой доказана высокая эффективность применения вспененных материалов в качестве звукоизоляционных прокладок в стяжках или полах. При толщине 6-8 мм и соответствующем выборе полезной нагрузки индекс улучшения изоляции ударного шума часто составляет от 22 до 26 дБ.

Одним из важных требований, предъявляемых к звукоизоляционным материалам, является необходимость сохранения материалами своих акустических качеств (динамических характеристик) в процессе их эксплуатации под действием постоянной нагрузки.

Для решения этой задачи авторами статьи был проведен обширный эксперимент с использованием методов искусственного старения экструзионных вспененных материалов.

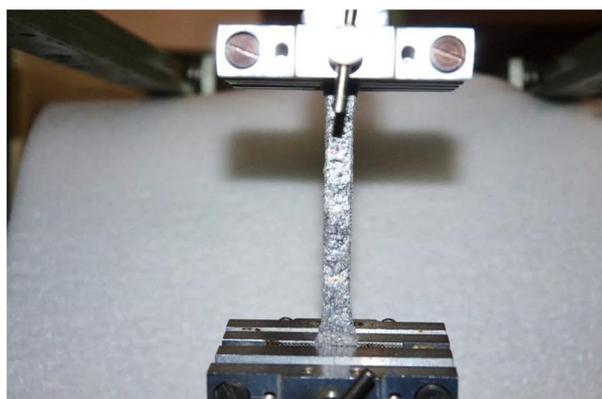
Данные испытания по искусственному старению материалов проводили в сушильном шкафу при максимально допустимой температуре –  $(85 \pm 2)^\circ\text{C}$  и 75% влажности в течение времени, эквивалентном 50-ти условным годам эксплуатации (УГЭ).

На основе анализа температурного режима эксплуатации вспененных материалов был проведен расчет режима их искусственного старения. Так как разница между средней и максимально допустимой температурой эксплуатации составляет  $60^\circ\text{C}$ , то искусственное старение в лабораторных условиях проводили при температуре, обеспечивающей старение материалов в наиболее короткий срок.

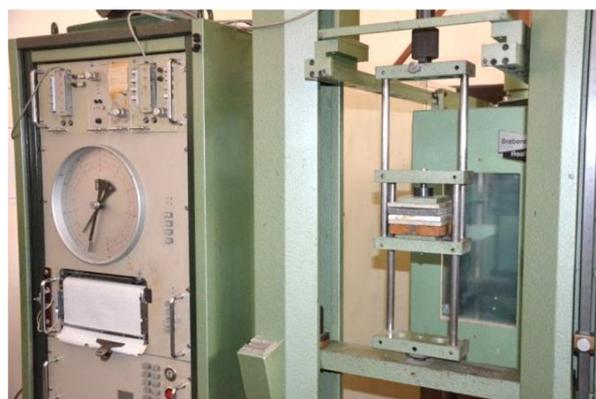
Согласно уравнению Аррениуса скорость старения возрастает примерно в 2,5 раза при увеличении температуры на каждые 10°C, соответственно для 50 УГЭ продолжительность испытаний должна была составлять 1100 ч.

В качестве испытуемого материала были взяты два листа экструзионного вспененного полипропилена марки «Стенофон» НПП» А/06 (толщина 6,0±0,5 мм) и А/10 (толщина 10,0±0,5 мм) производства ООО «Полифас».

Для определения показателей долговечности (водопоглощения по объему, условной прочности при разрыве по длине, относительного удлинения при разрыве по длине, предела прочности при сжатии при 10% линейной деформации) и динамических характеристик (динамических модулей упругости при нагрузке 2000 Па и 5000 Па, коэффициента относительного сжатия при нагрузке 2000 Па, индекса улучшения изоляции ударного шума «плавающей стяжкой») образцы были подвергнуты ускоренному старению, соответствующему 50 УГЭ (рис. 1, 2).



*Рисунок 1 – Испытание на растяжение*



*Рисунок 2 – Испытание на сжатие на универсальной испытательной машине*

Физико-механические испытания проводились в соответствии с ГОСТ 17177-94 и ГОСТ 29088-91. Результаты испытаний для образцов тип А/06 и А/10 приведены в таблицах 1 и 2 соответственно.

Таблица 1 – Результаты контрольных физико-механических испытаний образца тепло- и звукоизоляционного материала «Стенофон НПП» тип А/06 до и после старения

№№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Фактический результат (тип А/06)	После старения	Изменение показателя после старения, %
1.	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	30,4	-	-
2.	Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	0,25	0,22	12,0
3.	Условная прочность при разрыве, МПа, не менее • по длине • по ширине	0,47	54,8×10 <sup>-2</sup>	17,1
		0,42	-	-
4.	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее • по длине • по ширине	33,4	32,1	3,9
		26,8	-	-
5.	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее • на 10%; • на 25%;	1,6×10 <sup>-2</sup>	1,5×10 <sup>-2</sup>	6,0
		4,3×10 <sup>-2</sup>	-	-
6.	Относительная остаточная деформация при сжатии на 25%, в %, не более • через 0,5 ч • через 24 ч	6,1	-	-
		3,3	-	-

Таблица 2 – Результаты контрольных физико-механических испытаний образца тепло- и звукоизоляционного материала «Стенофон НПП» тип А/10 до и после старения

№№ п/п	Наименование показателя, единица измерения	Фактический Результат	После старения	Изменение показателя после старения, %
1.	Плотность, кг/м <sup>3</sup> , в пределах	31,4	-	-
2.	Водопоглощение за 24 ч, % по объему, не более	0,25	0,20	20,0
3.	Условная прочность при разрыве, МПа, не менее • по длине • по ширине	0,54	55,6×10 <sup>-2</sup>	3,3
		0,45	-	-
4.	Относительное удлинение при разрыве, %, не менее • по длине • по ширине	36,0	26,9	25,0
		23,9	-	-
5.	Предел прочности при сжатии, МПа, не менее • на 10%; • на 25%;	2,9×10 <sup>-2</sup>	2,4×10 <sup>-2</sup>	17,0
		5,4×10 <sup>-2</sup>	-	-
6.	Относительная остаточная деформация при сжатии на 25%, в %, не более • через 0,5 ч • через 24 ч	6,8	-	-
		5,6	-	-

Акустические испытания образцов проводились на вибростенде и в звукомерных камерах НИИСФ РААСН. Снижение уровней ударного шума стяжкой определяли экспериментально в соответствии с ГОСТ 27296-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции» и представляли их в виде разности уровней ударного шума, возникающего под перекрытием при работе на нем стандартной ударной машины: на плите перекрытия без стяжки, а затем со стяжкой по формуле:

$$\Delta L_n = L_{no} - L_{n1}, \quad (1)$$

где  $L_{no}$  – уровень ударного шума под плитой перекрытия без стяжки;  $L_{n1}$  – уровень ударного шума под плитой перекрытия, но уже со стяжкой;  $\Delta L_n$  – снижение приведенного уровня ударного шума.

Полученные в результате проведенных измерений частотные характеристики позволили вычислить индексы улучшения изоляции ударного шума стяжкой, уложенной по слою материалов толщиной 6 и 10 мм, не подвергнутых искусственному старению и после старения на 50 УГЭ. Результаты испытаний приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты акустических испытаний образцов тепло- и звукоизоляционного материала «Стенофон НПП» типов А/06 и А/10 до и после старения

№№ п/п	Наименование показателя	Тип А/06		Тип А/10	
		Контрольные испытания	Результаты после 50УГЭ	Контрольные испытания	Результаты после 50УГЭ
1.	Динамический модуль упругости, Па, при нагрузке не более: 2000 Па 5000 Па	3,4 10 <sup>5</sup>	6,0 10 <sup>5</sup>	8,7·10 <sup>5</sup>	8,0·10 <sup>5</sup>
		17,0 10 <sup>5</sup>	10,0 10 <sup>5</sup>	20,9·10 <sup>5</sup>	28,6·10 <sup>5</sup>
2.	Индекс улучшения изоляции ударного шума, дБ, не менее	24	24,5	24	25
3.	Коэффициент относительного сжатия при нагрузке: 2000 Па 5000 Па	0,088	0,0148	0,068	0,083
		0,150	0,100	0,075	0,100

### Заключение.

Проведенные комплексные физико-механические и акустические испытания образцов тепло- и звукоизоляционного материала «Стенофон НПП» А/06 и А/10 производства ООО «Полифас» показали, что при испытании на долговечность в процессе старения происходит увеличение жесткости и хрупкости.

Увеличение жесткости приводит к возрастанию условной прочности при разрыве в продольном направлении с одновременным снижением относительного удлинения по длине при разрыве. Увеличение хрупкости вызывает снижение предела прочности при 10% сжатии.

Показатели динамических характеристик материала отвечают требованиям СП 51.13330.2011 «Свод правил. Защита от шума» (актуализированная редакция СНиП 23-03-2003) и ТУ 2246-002-38545110-2013 с изм. 1.

Динамический модуль упругости образцов, подвергнутых старению на срок 50 УГЭ, при нагрузке 2000 Па для образца типа А/06 вырос, для А/10 уменьшился; при нагрузке 5000 Н для образца типа А/06 остался практически на прежнем уровне, а для А/10 вырос. Однако полученные значения динамического модуля после старения не превышают нормативные значения.

Изменение динамического модуля упругости образцов, подвергнутых старению на срок 50 УГЭ, приводит к незначительному увеличению индекса улучшения ударного шума перекрытием с «плавающей» стяжкой на (от 2,0 до 4,2±0,5) дБ.

Таким образом, результаты проведенных испытаний свидетельствуют о том, что применение данного материала обеспечивает выполнение нормативных требований изоляции ударного шума в течение длительного срока эксплуатации, эквивалентного 50 условным годам эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герасимов, А.И. Звукоизоляционные и звукопоглощающие материалы и их применение в строительстве [Текст] / А.И. Герасимов // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2009. – №5. – С. 209-215.
2. Осипов, Г.Л. Снижение шума в зданиях и жилых районах [Текст] / Г.Л. Осипов, Е.Я. Юдин, Г. Хюбнер и др. – М.: Стройиздат, 1987. – 558 с.
3. Клименко, В.В. Исследование динамических характеристик материалов упругих подложек паркетных полов в процессе эксплуатации [Текст] / В.В. Клименко, В.А. Горин // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2010. – №3. – С. 204-207.
4. Шубин, И.Л. Нормативные документы по энергосбережению и строительной акустике, разработанные в НИИСФ РААСН [Текст] / И.Л. Шубин, Н.П. Умякова // БСТ. – 2012. – №2. – С. 7-13.
5. Цукерников, И.Е. Решение задач строительной акустики как фактора, обеспечивающего безопасность и комфортность проживания в зданиях [Текст] / И.Е. Цукерников, Л.А. Тихомиров, Е.О. Соломатин и др. // Жилищное строительство. – М., 2014. – №6. – С. 49-52.
6. Шубин, И.Л. Возрастание шума в жилой застройке в связи с реконструкцией автодороги [Текст] / И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Л.А. Тихомиров, Т.О. Невенчанная // Жилищное строительство. – 2014. – №6. – С. 27-31.
7. Гусев, В.П. Изоляция шума воздухопроводов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов [Текст] / В.П. Гусев, А.В. Сидорина // Строительные материалы. – 2013. – №6. – С. 37-39.
8. Борисов, Л.А. Динамические характеристики пенополиэтиленов под воздействием длительной нагрузки [Текст] / Л.А. Борисов, В.А. Градов, Е.В. Насонова // Проблемы экологической безопасности и энергосбережения в строительстве и ЖКХ: Материалы международной научно-практической конференции. – Кавала (Греция), 2014. – С. 226-233.

### **Борисов Лев Александрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией «Архитектурная акустика и акустические материалы»

Тел.: +7 (495) 482-57-33, +7 (495) 482-40-60

E-mail: lborisoff@rambler.ru

### **Градов Виктор Алексеевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник

Тел.: +7(495) 482-52-84, +7 (495) 482-40-60

**Третьяков Владимир Игоревич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Стройполимертест»

Тел. +7 (499) 488-79-90, +7 (499) 482-40-60

E-mail: niisf102@mail.ru

**Богомолова Лариса Константиновна**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат химических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Стройполимертест»

Тел.: +7 (499)-488-79-90, +7 (499) 482-40-60

E-mail: lb102@ Rambler.ru

**Гузова Эмилия Самуиловна**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Стройполимертест»

Тел.+7 (499) 488-79-90, +7 (499) 482-40-60

E-mail:guzova@bk.ru

**Кривчиков Константин Викторович**

ООО «ПОЛИФАС», Ленинградская область, г. Гатчина

Коммерческий директор

Тел.: +7 (812) 337-12-26, 337-12-27

E-mail: polifasplus@mail.ru

---

L. BORISOV, V. GRADOV, V. TRETYAKOV,  
L. BOGOMOLOVA, E. GUZOVA, K. KRIVCHIKOV

**RESEARCH OF PHYSICAL, MECHANICAL AND ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF HEATPROOF AND SOUNDPROOF MATERIALS WITH USING THE ARTIFICIAL AGING METHOD**

*Investigations of physical, mechanical and acoustic properties of thermal and acoustic insulation material made of foamed polypropylene brand "Stenofon NPP" type A / 06 and A / 10 production of "Polifas" were conducted. Basing on the analysis of the temperature mode of operation foams the calculation of the mode artificial aging were carried out. Tests were carried out for samples of the material is not subjected to artificial aging and after aging for 50 years of conventional operation. The results of durability assessment are presented: water absorption by volume, relative strength at break in length, the relative elongation at break in length, the compressive strength at 10% of linear deformation; and dynamic characteristics: dynamic modulus of elasticity for 2000 Pa, 5000 Pa, the relative compression ratio at a load of 2000 Pa, the index improved sound insulation "floating screed". It is concluded that the using of this material ensures compliance with regulatory requirements, impact sound insulation for a long lifetime, that is equivalent of 50 relative years.*

**Keywords:** foamed polypropylene foam, acoustic performance, longevity, physical and mechanical properties.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Gerasimov, A.I. Zvukoizoljacionnye i zvukopogloshhajushhie materialy i ih primenenie v stroitel'stve [Tekst] / A.I. Gerasimov // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M., 2009. – №5. – S. 209-215.
2. Osipov, G.L. Snizhenie shuma v zdaniyah i zhilyh rajonah [Tekst] / G.L. Osipov, E.Ja. Judin, G. Hjubner i dr. – M.: Strojizdat, 1987. – 558 s.
3. Klimenko, V.V. Issledovanie dinamicheskikh harakteristik materialov uprugih podlozhek parketnyh polov v processe jekspluatacii [Tekst] / V.V. Klimenko, V.A. Gorin // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M., 2010. – №3. – S. 204-207.

4. Shubin, I.L. Normativnye dokumenty po jenergoberezeniju i stroitel'noj akustike, razrabotannye v NIISF RAASN [Tekst] / I.L. Shubin, N.P. Umnjakova // BST. – 2012. – №2. – S. 7-13.
5. Cukernikov, I.E. Reshenie zadach stroitel'noj akustiki kak faktora, obespechivajushhego bezopasnost' i komfortnost' prozhivaniya v zdaniyah [Tekst] / I.E. Cukernikov, L.A. Tihomirov, E.O. Solomatin i dr. // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – M., 2014. – №6. – S. 49-52.
6. Shubin, I.L. Vozrastanie shuma v zhiljoj zastrojke v svyazi s rekonstrukciej avtodorogi [Tekst] / I.L. Shubin, I.E. Cukernikov, L.A. Tihomirov, T.O. Nevenchannaja // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2014. – №6. – S. 27-31.
7. Gusev, V.P. Izoljacija shuma vozduhovodov sistem ventiljacji pokrytijami s ispol'zovaniem jelastomernyh i voloknistyh materialov [Tekst] / V.P. Gusev, A.V. Sidorina // Stroitel'nye materialy. – 2013. – №6. – S. 37-39.
8. Borisov, L.A. Dinamicheskie harakteristiki penopolijetilenov pod vozdejstviem dlitel'noj nagruzki [Tekst] / L.A. Borisov, V.A. Gradov, E.V. Nasonova // Problemy jekologicheskoj bezopasnosti i jenergoberezenija v stroitel'stve i ZhKH: Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoj konferencii. – Kavala (Grecija), 2014. – S. 226-233.

**L. Borisov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, head of laboratory «Architectural acoustics and acoustic materials»  
Ph.: +7 (495) 482-57-33, +7 (495) 482-40-60  
E-mail: lborisoff@rambler.ru

**V. Gradov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, leading researcher  
Ph.: +7(495) 482-52-84, +7 (495) 482-40-60

**V. Tretyakov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, head of the laboratory «Стройполимертест»  
Ph.: +7 (499) 488-79-90, +7 (499) 482-40-60  
E-mail: niisf 102@mail.ru

**L. Bogomolova**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of chemical sciences, leading researcher of the laboratory «Стройполимертест»  
Ph.: +7 (499)-488-79-90, +7 (499) 482-40-60  
E-mail: lb102@rambler.ru

**E. Guzova**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory «Стройполимертест»  
Ph.: +7 (499) 488-79-90, +7 (499) 482-40-60  
E-mail: guzova@bk.ru

**K. Krivchikov**

ООО «ПОЛИФАС», Leningrad region, Gatchina  
Commercial director  
Ph.: +7 (812) 337-12-26, 337-12-27  
E-mail: polifasplus@mail.ru

ГУСЕВ В.П., ЛЕДЕНЕВ В.И., МАТВЕЕВА И.В., ЯРОВАЯ Т.С.

## ИНЖЕНЕРНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ШУМА В ПРОСТРАНСТВАХ ПОДВЕСНЫХ ПОТОЛКОВ С ВОЗДУХОВОДАМИ

*Рассматриваются особенности распространения звуковой энергии в пространстве подвесного потолка при расположении в них излучающих шум воздуховодов. Предлагается метод расчета шума, распространяющегося в крупногабаритных пространствах подвесных потолков от воздуховодов. Метод позволяет оценить степень зашумления нижележащих помещений и выбрать эффективные строительно-акустические меры снижения этой составляющей шума в помещениях.*

**Ключевые слова:** пространство подвесного потолка, воздуховод, воздушный шум, метод расчета шума.

В гражданских зданиях различного назначения для размещения технологического оборудования между подвесным потолком и вышележащим перекрытием устраиваются специальные пространства различной высоты. Часть из них можно считать крупногабаритными. К крупногабаритным относятся пространства, высота которых 1,5 м и более, т.е. больше длины волны в октавной полосе с  $f_{cp} = 250$  Гц. В этих пространствах размещают излучающие шум воздуховоды различного вида. Шум от них, попадая в пространство подвесного потолка, распространяется на значительные расстояния от источника и зашумляет ниже лежащие под потолком помещения. Для оценки уровня зашумления помещений необходим метод расчета, позволяющий учесть особенности распространения шума от воздуховодов в пространстве подвесного потолка.

Воздуховоды делят пространство потолка на отдельные плоские объемы, являясь в этом случае боковыми поверхностями объема, излучающими в него звуковую энергию. Уровень звукового давления в пространстве потолка при излучении звуковой энергии боковой поверхностью объема определяется как:

$$L_i = 10 \lg \left( (\varepsilon_{npi} + \varepsilon_{ompi}) c / I_0 \right), \quad (1)$$

где  $\varepsilon_{npi}$  – плотность звуковой энергии, создаваемая поверхностью воздуховода как источником прямого звука в  $i$ -ой точке пространства подвесного потолка;  $\varepsilon_{ompi}$  – плотность отраженной звуковой энергии в  $i$ -ой точке, создаваемая прошедшим через стенку воздуховода звуком;  $I_0$  – пороговая интенсивность звука;  $c$  – скорость звука.

Боковые излучающие шум поверхности воздуховода имеют длину, значительно превышающую высоту поверхностей и в этой связи их можно отнести к линейным источникам. В этом случае распределение прямой звуковой энергии от них в пространстве подвесного потолка можно оценить, используя метод расчета, изложенный в [1]. При этом для излучающих звук поверхностей ограждений канала модель излучения звуковой энергии можно принять соответствующей закону Ламберта. В этом случае линейная мощность излучения боковой стенки воздуховода  $p'$ , Вт/м, будет определяться как  $p'(\alpha) = p' \cos \alpha$ , где  $\alpha$  – угол между плоскостью, перпендикулярной к поверхности воздуховода и расположенной по центру высоты воздуховода, и плоскостью, проходящей через центр высоты воздуховода и расчетную точку в пространстве потолка. С достаточной для практики точностью положение расчетных точек можно принимать в середине высоты пространства подвесного потолка. В этом случае  $\cos \alpha = 1$ .

Величина  $p'$ , излучаемая стенкой воздуховода, может быть определена в результате расчета распространения шума по каналу воздуховода при известной мощности источника шума, излучающего звуковую энергию в воздуховод, и известной звукоизоляции стенки воздуховода. При расчете уровней звукового давления в воздуховодах и каналах можно использовать методы, изложенные в работах [2, 3]. Выбор конкретного метода зависит от объемно-планировочных параметров и акустических характеристик внутренних поверхностей воздуховодов.

Так как прямая и отраженная составляющие звуковой энергии в воздуховодах не постоянны по длине, при практических расчетах величину линейной мощности излучения стенкой с достаточной точностью можно принимать равной средней величине:

$$p'_{cp} = \int_{L_g} p' \cdot dL / L_g, \quad (2)$$

где  $L_g$  – длина воздуховода в пределах пространства потолка.

Схема к расчету прямой звуковой энергии от линейного источника, мощностью  $p'_{cp}$ , размещенного в воздушном пространстве подвешенного потолка, приведена на рисунке 1.

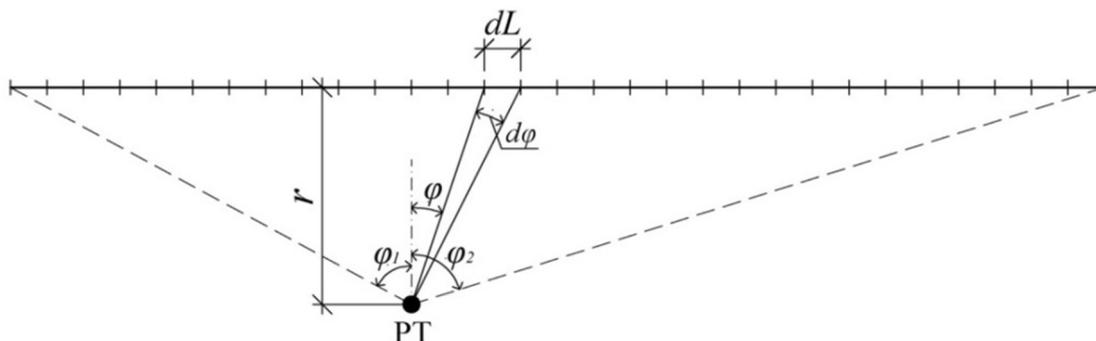


Рисунок 1 – Схема к расчету прямой звуковой энергии от стенки воздуховода, как линейного источника шума

Учитывая, что  $p'_{cp} dL = (p'_{cp} r \cdot \cos^2 \varphi) d\varphi$ , плотность прямого звука в любой  $i$ -ой расчетной точке согласно [1] будет определяться как:

$$\varepsilon_{npi} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} d\varepsilon_{npi} = \frac{p'_{cp}}{\pi r_i c} (\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1), \quad (3)$$

где  $d\varepsilon_{npi} = \frac{p'_{cp} \cos \varphi}{\pi r_i c} d\varphi$ .

Отраженная звуковая энергия распространяется в пространстве подвешенного потолка по более сложным зависимостям, учитывающим форму и соотношения размеров пространства, величину звукопоглощения поверхностей и т.п.

В связи с поглощением отраженной звуковой энергии в среде и на границах пространства сформированное прошедшим через стенку воздуховода звуком отраженное звуковое поле имеет квазидиффузный характер, для которого характерна связь между плотностью потока звуковой мощности  $q_{omr}$  и градиентом плотности отраженной звуковой энергии  $\varepsilon_{omr}$  в виде [4]:

$$q_{omr} = -\eta grad \varepsilon_{omr}, \quad (4)$$

где  $\eta = 0,5cl_{cp}$  – коэффициент переноса отраженной звуковой энергии в условиях квазидиффузного звукового поля;  $l_{cp}$  – средняя длина свободного пробега отраженных звуковых волн в замкнутом воздушном объеме.

Плотности потоков отраженной звуковой энергии, поглощаемой на границах пространства подвешенного потолка в условиях квазидиффузного поля согласно [6] определяются выражением:

$$q_{omr, погл} = \frac{\alpha_{cp}}{2(2 - \alpha_{cp})} c \varepsilon_{omr}, \quad (5)$$

где  $\alpha_{cp}$  – средний коэффициент звукопоглощения поверхностей перекрытия и подвешенного потолка.

Следует отметить, что подобный подход к оценке отраженного звукового поля как квазидиффузного поля в настоящее время используется и в зарубежной практике [5, 6, 7].

Используя (4) и (5), можно описать распределение отраженной звуковой энергии в пространстве потолка. Пространство подвешенного потолка относится к плоским объемам, в кото-

рых плотность отраженной звуковой энергии постоянна в пределах поперечного сечения и меняется только при удалении от излучающего шум воздуховода, то есть  $\varepsilon_{omp} = f(x)$ .

Для получения дифференциального уравнения, которому удовлетворяет функция  $\varepsilon_{omp}(x)$ , примем начало координат в месте положения стены воздуховода и направим ось  $X$  по центральной оси пространства. Составим баланс отраженной энергии, считая, что вся отраженная энергия вводится в помещение в месте расположения источника шума, т.е. на стене воздуховода. Возможность такого представления ввода энергии показана в работе [8]. В этом случае баланс отраженной звуковой энергии элемента поперечного сечения с размерами  $dx$  можно записать как:

$$-\eta F \frac{d\varepsilon_{omp}}{dx} - \left( -\eta F \frac{d\varepsilon_{omp}}{dx} - \eta F \frac{d^2\varepsilon_{omp}}{dx^2} dx \right) = \frac{\alpha_{cp} c \varepsilon_{omp}}{2(2 - \alpha_{cp})} U dx + c m_{\varepsilon} \varepsilon_{omp} F dx. \quad (6)$$

Тогда:

$$\eta \frac{d^2\varepsilon_{omp}}{dx^2} = \frac{\alpha_{cp} c \varepsilon_{omp}}{2(2 - \alpha_{cp}) F} U + c m_{\varepsilon} \varepsilon_{omp}. \quad (7)$$

Здесь  $F$  и  $U$  – площадь и периметр поперечного сечения пространства, параллельного воздуховоду;  $m_{\varepsilon}$  – пространственный коэффициент затухания звука в воздухе.

Уравнение (7) удобнее записать в виде:

$$\eta \frac{d^2\varepsilon_{omp}}{dx^2} - \varphi^2 \varepsilon_{omp} dx = 0, \quad (8)$$

где

$$\varphi = \sqrt{\frac{\alpha_{cp} c U}{2(2 - \alpha_{cp}) F \eta} + \frac{c m_{\varepsilon}}{\eta}}. \quad (9)$$

Общее решение уравнения (7) имеет вид:

$$\varepsilon_{omp} = C_1 e^{\varphi x} + C_2 e^{-\varphi x} = 0. \quad (10)$$

Значения постоянных  $C_1$  и  $C_2$  определяется из граничных условий.

Так как высота пространства потолка значительно меньше его длины с достаточной точностью можно принять, что пространство имеет неограниченную длину и в нем действует источник отраженной звуковой энергии мощностью:

$$P_{omp} = p'_{cp} L_{\varepsilon} (1 - \alpha_{cp}). \quad (11)$$

В этом случае граничные условия запишутся в виде:

$$\left. \begin{array}{l} \text{при } x = 0 \quad -\eta \frac{d\varepsilon_{omp}}{dx} = P_{omp} \\ \text{при } x = \infty \quad \varepsilon = 0 \end{array} \right\}. \quad (12)$$

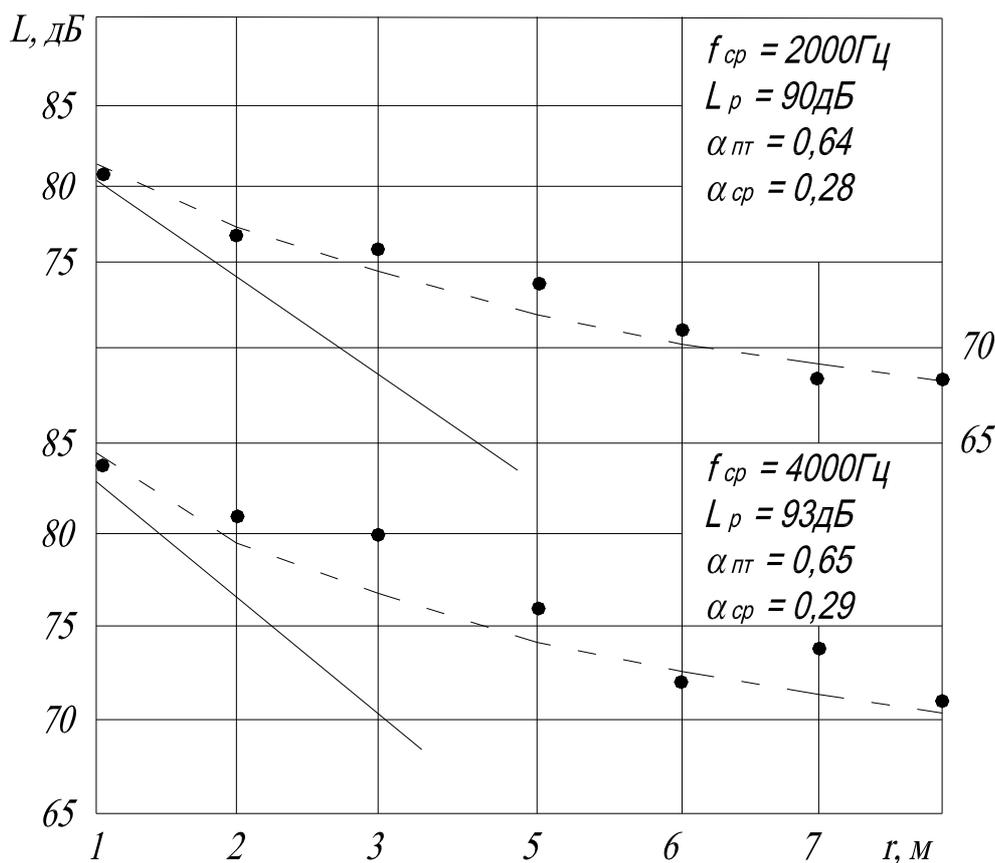
Решение уравнения (8), удовлетворяющее условиям (12), имеет вид:

$$\varepsilon_{omp} = \frac{P_{omp}}{\varphi \eta F} e^{-\varphi x}. \quad (12)$$

Таким образом, оценку шума, распространяющегося в подвесных потолках от воздуховодов можно определять по формуле (1), используя для определения плотности прямой и отраженной составляющих звуковой энергии, соответственно формулы (3) и (13).

В окончательном виде формулу для расчета уровней звукового давления можно записать в виде:

$$L_i = 10 \lg \left( p'_{cp} \left( \frac{\sin \varphi_2 - \sin \varphi_1}{\pi r_i c} + \frac{L_{\varepsilon} (1 - \alpha_{cp})}{\varphi \eta F} e^{-\varphi x} \right) c / I_0 \right). \quad (14)$$



**Рисунок 2 – Расчетные и экспериментальные уровни звукового давления в пространстве подвешенного потолка размерами 11,8×9,4×1,8 м при наличии в нем излучающего шум воздуховода:  $\alpha_{пт}$ ,  $\alpha_{ср}$  – коэффициент звукопоглощения потолка и средний коэффициент звукопоглощающих поверхностей;  $L_p$  – общая звуковая мощность воздуховода, дБ;  $f_{cp}$  – среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц (сплошная линия – прямой звук; пунктир – расчетный метод; точки – экспериментальные данные)**

Экспериментальная проверка предложенного метода показала его достаточную точность (см. рис. 2). Расхождения результатов расчетов и эксперимента не превышают  $\pm 3$  дБ в наиболее удаленных от воздуховода точках пространства подвешенного потолка.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Антонов, А.И. Расчеты уровней прямого звука от линейных источников шума, располагающихся на промышленных предприятиях и в городской застройке [Текст] / А.И. Антонов, В.И. Леденев, Е.О. Соломатин // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура. – 2013. – №31-1(50). – С. 329-335.
2. Гусев, В.П. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования [Текст] / В.П. Гусев, О.А. Жоголева, В.И. Леденев, Е.О. Соломатин // Жилищное строительство. – 2012. – №6. – С. 52-54.
3. Леденев, В.И. Инженерная оценка распространения шума в тоннелях и коридорах [Текст] / В.И. Леденев, И.В. Матвеева, С.И. Крышов // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2011. – №5-2. – С. 393-396.
4. Леденев, В.И. Статистические энергетические методы расчета шумовых полей при проектировании производственных зданий [Текст] // В.И. Леденев. – Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2000. – 156 с.
5. Picaut J., Simon L., D. Polack J. A mathematical model of diffuse sound field based on a diffusion equation // Acoustica, 1997. – Vol. 83. – №4. – pp. 614-621.
6. Valeau V., Picaut J., Hodgson M. On the use of a diffusion equation for room-acoustic prediction // Journal of the Acoustical Society of America. – 2006. – Vol. 119. – №3. – pp. 1504-1513.

7. Valeau V., Hodgson M., Picaut J. A diffusion-based analogy for the prediction of sound fields in fitted rooms // Acta Acustica United with Acustica. – 2007. – Vol. 93. – №1. – pp. 94-105.

8. Воронков, А.Ю. О принципе ввода звуковой энергии в помещение при использовании интегро-интерполяционного метода расчета шумовых полей [Текст] / А.Ю. Воронков, А.Е. Жданов // Труды ТГТУ: сб. науч. ст. мол. уч. и ст. – Тамбов, 1999. – Вып. 4. – С. 116-118.

**Гусев Владимир Петрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией защиты от шума вентиляционного и инженерно-технологического оборудования

Тел.: +7 (495) 482-40-33

E-mail: gusev-43@mail.ru

**Леденев Владимир Иванович**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Доктор технических наук, профессор кафедры «ГСиАД»

Тел.: +7 (4752) 63-09-20

E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

**Матвеева Ирина Владимировна**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Кандидат технических наук, доцент кафедры «ГСиАД»

Тел.: +7 (4752) 63-09-20

E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

**Яровая Татьяна Сергеевна**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов

Инженер, ассистент кафедры «ГСиАД»

Тел.: +7 (4752) 63-09-20

E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

---

V. GUSEV, V. LEDENEV, I. MATVEEVA, T. YAROVAYA

**ENGINEERING METHOD OF THE NOISE CALCULATION  
FOR THE FALSE CEILING SPACES WITH AIR-DUCTS**

*The features of the sound energy in the ceiling space at the location of the noise they emit air ducts. The method of calculation of noise propagation in large spaces, suspended ceilings from ducts. The method allows to estimate the degree of noise on lower-lying areas and choose effective construction and acoustic measures to reduce this noise component in the premises.*

**Keywords:** ceiling space, air, airborne noise, the method of calculating noise.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Antonov, A.I. Raschety urovnej prjamogo zvuka ot linejnyh istochnikov shuma, raspolagajushhihsja na promyshlennyh predpriyatijah i v gorodskoj zastrojke [Tekst] / A.I. Antonov, V.I. Ledenev, E.O. Solomatin // Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Stroitel'stvo i arhitektura. – 2013. – №31-1(50). – S. 329-335.

2. Gusev, V.P. Metod ocenki rasprostraneniya shuma po vozdušnym kanalam sistem otoplenija, ventiljacii i kondicionirovanija [Tekst] / V.P. Gusev, O.A. Zhogoleva, V.I. Ledenev, E.O. Solomatin // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – №6. – S. 52-54.

3. Ledenev, V.I. Inženernaja ocenka rasprostraneniya shuma v tonneljah i koridorah [Tekst] / V.I. Ledenev, I.V. Matveeva, S.I. Kryshov // Izvestija Jugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2011. – №5-2. – S. 393-396.

4. Ledenev, V.I. Statisticheskie jenergeticheskie metody rascheta shumovyh polej pri proektirovanii proizvodstvennyh zdanij [Tekst] // V.I. Ledenev. – Tambov: Izd-vo Tamb. gos. tehn. un-ta, 2000. – 156 s.

5. Picaut J., Simon L., D. Polack J. A mathematical model of diffuse sound field based on a diffusion equation // *Acoustica*, 1997. – Vol. 83. – №4. – pp. 614-621.
6. Valeau V., Picaut J., Hodgson M. On the use of a diffusion equation for room-acoustic prediction // *Journal of the Acoustical Society of America*. – 2006. – Vol. 119. – №3. – pp. 1504-1513.
7. Valeau V., Hodgson M., Picaut J. A diffusion-based analogy for the prediction of sound fields in fitted rooms // *Acta Acustica United with Acustica*. – 2007. – Vol. 93. – №1. – pp. 94-105.
8. Voronkov, A.Ju. O principe vvoda zvukovoj jenergii v pomeshhenie pri ispol'zovanii integro-interpoljacionnogo metoda rascheta shumovyh polej [Tekst] / A.Ju. Voronkov, A.E. Zhdanov // *Trudy TGTU: sb. nauch. st. mol. uch. i st.* – Tambov, 1999. – Вып. 4. – S. 116-118.

**V. Gusev**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, head of laboratory noise protection ventilation and engineering equipment  
Ph.: +7 (495) 482-40-33  
E-mail: gusev-43@mail.ru

**V. Ledenev**

Tambov state technical university, Tambov  
Doctor of technical sciences  
Ph.: +7 (4752) 63-09-20  
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

**I. Matveeva**

Tambov state technical university, Tambov  
Candidate of technical sciences  
Ph.: +7 (4752) 63-09-20  
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

**T. Yarovaya**

Tambov state technical university, Tambov  
Engineer  
Ph.: +7 (4752) 63-09-20  
E-mail: gsiad@mail.tambov.ru

ДЕНИСОВ А.В., РОГАЧЕВ К.В.

## ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДИСПЕРСНОГО АРМИРОВАНИЯ ФИБРОБЕТОНА НА АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ТЕРМИЧЕСКИХ И РАДИАЦИОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ

Рассматриваются вопросы аналитического определения радиационных и термических деформаций и изменений прочности фибробетона в связи с планируемым использованием конструкций из фибробетона при строительстве атомных станций. На основе существующих моделей для аналитического определения изменений бетонов и растворов под действием термического и радиационного воздействия разработаны модели структуры фибробетона для аналитического определения его радиационных и термических изменений по данным об изменениях материалов, составляющих фибробетон. Показано, что вид разработанных моделей фибробетона и их математический аппарат зависит от параметров дисперсного армирования, основным из которых являются среднее расстояние между волокнами фибры и его соотношение со средним размером зерен заполнителя (песка) фибробетона. Выделены два основных случая соотношения этих параметров: когда расстояние между волокнами фибры сопоставимо с расстоянием между зернами заполнителя и меньше его, а также когда расстояние между волокнами фибры больше расстояния между зернами заполнителя. Приведены основные математические выражения для аналитического определения радиационных и термических изменений фибробетона по данным об изменениях его составляющих для двух указанных случаев.

**Ключевые слова:** фибробетон, радиационные и термические изменения, модель.

Фибробетон, как мелкозернистый бетон, дисперсно армированный стальными, стеклянными, базальтовыми или другими волокнами (фиброй), отличающийся в связи с этим повышенными механическими и физическими свойствами, все более широко применяется в строительстве. Перспективным считается использование панелей из фибробетона при строительстве атомных электростанций в качестве несъемной опалубки сборно-монолитных конструкций [1]. Однако фибробетон в таких конструкциях может подвергаться радиационным и термическим воздействиям. В связи с этим вопросы прогнозирования и учета термических и радиационных изменений фибробетона имеет большую важность.

При термическом и радиационном воздействии будут происходить изменения, размеров, объема, механических свойств за счет увеличения объема песка и фибры, за счет усадки цементного камня, а также за счет возникновения микроструктурных напряжений из-за несовместимости термических и радиационных деформаций песка, фибры и цементного камня.

Фибробетон по структурным особенностям (из-за отсутствия в большинстве случаев крупного заполнителя) является фактически фиброраствором. В связи с этим за основу модели его структуры можно принять модель, используемую в работах [2-5] для аналитического определения радиационных и термических изменений растворов в виде шаровидных зерен заполнителя одинакового диаметра, расположенных в кубической гранецентрированной решетке, окруженных матрицей из цементного камня (рис. 1).



Рисунок 1 – Используемая в работах [2-5] модель раствора для аналитического определения радиационных и термических изменений его объема:  
а – объемный вид фрагмента модели; б – сечение фрагмента модели

С учетом фибры модель структуры фибробетона для аналитического определения его термических и радиационных изменений примет вид, показанный на рисунке 2.

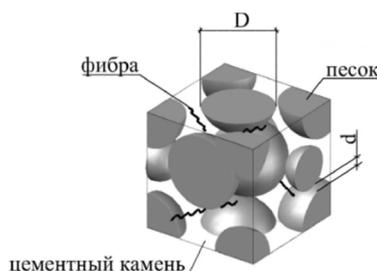


Рисунок 2 – Модель структуры фибробетона для аналитического определения его термических и радиационных изменений

Вместе с тем при использовании аналитических выражений этой модели для фибробетона требуется корректировка. При разработке модели в работах [2-5] напряженным состоянием из-за различий в величинах изменения объема составляющих пренебрегали, так как считали, что вследствие малой прочности цементного камня на растяжение эти напряжения полностью релаксируют за счет образования трещин.

При этом основными параметрами модели в работах [2-5] считали изменение объема составляющих, размер зерен песка –  $D$ , толщина прослойки цементного камня  $d$  и степень уплотнения заполнителя  $C_{уп}^n$ , определяемого из условия  $D/(D+d) = (C_{уп}^n)^{1/3}$ .

Применительно к фибробетону, как к высокопрочному материалу, к тому же армированному фиброй это упрощение не корректно, так как прочность фибробетона, а значит и армированного волокном цементного камня на растяжение в несколько раз больше чем обычного раствора.

В таком случае необходимо учитывать микроструктурные напряжения и для определения радиационных и термических изменения объема раствора по данным об изменении их составляющих выражение работ [2-5] изменят свой вид и потребуют рассмотрения взаимодействия составляющих материала или материала в целом с волокнами фибры.

Скорректированный вид модели структуры фибробетона зависит от параметров его дисперсного армирования. Основным параметром дисперсного армирования является расстояния между волокнами фибры и размера зерен заполнителя.

При среднем расстоянии между волокнами фибры соизмеримым со средним размером зерен заполнителя и менее волокна фибры будут располагаться во всех прослойках из цементного камня между зернами песка, и этот случай является наиболее специфическим.

В этом случае при радиационном и термическом воздействии, когда происходит разное изменение объема песка, фибры и цементного камня, каждое зерно песка взаимодействует с армированными прослойками цементного камня, а волокна фибры – с цементным камнем.

В таком случае с учетом микроструктурных напряжений для определения радиационных и термических изменения объема раствора по данным об изменении их составляющих выражение работ [2-5] примет следующий вид:

$$\frac{\Delta V_{фб}}{V_{фб}} = \left\{ \left[ C_{уп}^n \left( 1 + \frac{\Delta V_3^n}{V_3^n} + 3 \frac{\sigma_n}{E_n} (1 - 2\mu_n) \right) \right]^{\frac{1}{3}} + \left[ 1 - (C_{уп}^n)^{\frac{1}{3}} \right] \left[ 1 + \frac{\Delta V_{а.ц.к.}}{V_{а.ц.к.}} + 3 \frac{\sigma_{а.ц.к.}}{E_{а.ц.к.}} (1 - \mu_{а.ц.к.}) \right]^{\frac{1}{3}} \right\}^3 -$$

$$- 1 \approx \left[ \frac{\Delta V_3^n}{V_3^n} + 3 \frac{\sigma_n}{E_n} (1 - 2\mu_n) \right] (C_{уп}^n)^{\frac{1}{3}} + \left[ \left( 1 - (C_{уп}^n)^{\frac{1}{3}} \right) \left( \frac{\Delta V_{а.ц.к.}}{V_{а.ц.к.}} + 3 \frac{\sigma_{а.ц.к.}}{E_{а.ц.к.}} (1 - \mu_{а.ц.к.}) \right) \right]$$

где  $\frac{\Delta V_{фб}}{V_{фб}}$ ,  $\frac{\Delta V_3^n}{V_3^n}$  и  $\frac{\Delta V_{а.ц.к.}}{V_{а.ц.к.}}$  – относительное изменение объема фибробетона, песка и армированного фиброй цементного камня при облучении или нагревании;  $\mu_n$  и  $\mu_{а.ц.к.}$  – коэффициент

Пуассона материала песка и армированного фиброй цементного камня;  $\sigma_{a.ц.к.}$  и  $\sigma_n$  – микроструктурные напряжения в армированном фиброй цементном камне и в песке из-за различий в величинах их радиационных и термических изменений объема;  $E_n$  и  $E_{a.ц.к.}$  – модуль деформации песка и армированного фиброй цементного камня.

Значения  $\sigma_{a.ц.к.}$  принимаются не выше прочности на растяжение армированного фиброй цементного камня  $R_{a.ц.к.}$ , а  $\sigma_n$  не выше значения, которое будет достигнуто при  $\sigma_{a.ц.к.} = R_{a.ц.к.}$ , так как после достижения величины  $R_{a.ц.к.}$  напряжения будут стабилизироваться за счет релаксации вследствие преимущественно образования и раскрытия трещин.

В таком случае относительный объем трещин  $V_{тр.фб}$  в фибробетоне, в долях единицы будет необходим для определения снижения прочности определяться по формуле:

$$V_{тр.фб} = \frac{\Delta V_{фб}}{V_{фб}} - \left( \frac{\Delta V_3^n}{V_3^n} + 3 \frac{\sigma_n}{E_n} (1 - 2\mu_n) \right) V_3^n - \left( \frac{\Delta V_{a.ц.к.}}{V_{a.ц.к.}} + 3 \frac{\sigma_{a.ц.к.}}{E_{a.ц.к.}} (1 - \mu_{ц.к.}) \right) V_{a.ц.к.} \quad (2)$$

Для определения величин микроструктурных напряжений  $\sigma_{a.ц.к.}$  и  $\sigma_n$  можно воспользоваться моделью, описанной в работах [6, 7] (рис. 3) структурной ячейки бетона (раствора) в виде сферического зерна, покрытого оболочкой постоянной толщины – для определения напряжений в песке и армированном фиброй цементном камне при их различных изменениях размеров и объема.

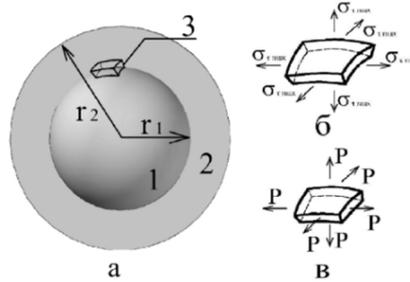


Рисунок 3 – Модель, описанная в работах [6, 7], структурной ячейки бетона (раствора) а – зерно (1) с оболочкой (2) и элементарным объемом (3); б и в – схемы напряженного состояния элементарного объема оболочки и зерна

В соответствии с этой моделью напряжения в формуле (1) определяются выражениями:

$$\sigma_n = \left( \frac{\Delta V_{a.ц.к.}}{V_{a.ц.к.}} - \frac{\Delta V_n}{V_n} \right) \frac{2 + x^3}{3N}; \quad (3)$$

$$\sigma_{a.ц.к.} = \left( \frac{\Delta V_n}{V_n} - \frac{\Delta V_{a.ц.к.}}{V_{a.ц.к.}} \right) \frac{2(x^3 - 1)}{3N}, \quad (4)$$

$$\text{где } N = \frac{1}{E_n} [2 - 4\mu_n + x^3(1 + \mu_n)] + \frac{2}{E_{a.ц.к.}} [2\mu_{a.ц.к.} - 1 + x^3(1 - \mu_{a.ц.к.})]; \quad (5)$$

$$x = \frac{D + d}{D}. \quad (6)$$

Для определения  $E_{a.ц.к.}$  и относительного увеличения объема армированного фиброй цементного камня  $\frac{\Delta V_{a.ц.к.}}{V_{a.ц.к.}}$  (также зависящего не только от изменения объема цементного камня и фибры, но и от напряжений из-за разницы деформаций цементного камня и фибры) можно воспользоваться моделью работы [8] в виде стержня, окруженного с двух сторон матрицей (рис. 4), используемой для расчета термических напряжений при нагревании стержня применительно к массивам горных пород.

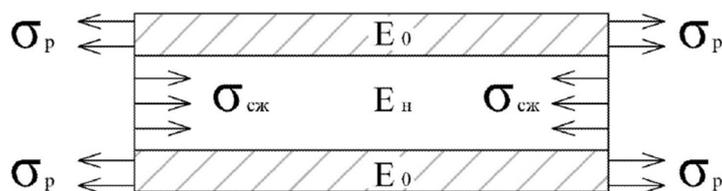


Рисунок 4 – Модель, описанная в работе [7], в виде расширяющегося нагреваемого стержня, окруженного с двух сторон матрицей

Применительно к армированному фиброй цементному камню в прослойках между частицами песка шириной  $d$  эта модель может рассматриваться как круглый стержень диаметром  $df$ , окруженный с двух сторон пластинами из цементного камня той же толщины  $df$ , но не менее  $d$  модели и поперечные параметры модели можно принять равными:

- диаметр стержня модели равен  $df$  – диаметру волокна фибры;
- общая ширина сечения модели равна  $Cf$  – среднему расстоянию между волокнами фибры;

- общая толщина сечения модели равна  $df$ , но не менее  $d$  модели, так как если при  $df > d$  волокна фибры раздвигают зерна песка на величину до  $df$ , то при  $df < d$  волокна фибры не раздвигают зерна песка, а располагаются в пределах прослойки шириной  $d$ ;

- относительная площадь сечения стержня-волокна фибры по отношению к общей площади модели:

$$A_n = (\pi d_f^2 / 4) / (d_f C_f) \approx d_f / C_f = A_f - \text{при } d_f \geq d;$$

$$A_n = (\pi d_f^2 / 4) / (d C_f) = A_f - \text{при } d_f < d.$$

Напряжения в элементах армированного фиброй цементного камня, деформации и модуль упругости в соответствии с этой моделью определяются выражениями:

$$\sigma_f = \left( \frac{\Delta l_{цк}}{l_{цк}} - \frac{\Delta l_f}{l_f} \right) \frac{E_f E_{цк} (1 - A_f)}{(1 - A_f) E_{цк} + A_f E_f}; \quad (7)$$

$$\sigma_{цк} = \left( \frac{\Delta l_f}{l_f} - \frac{\Delta l_{цк}}{l_{цк}} \right) \frac{E_f E_{цк} A_f}{(1 - A_f) E_{цк} + A_f E_f}; \quad (8)$$

$$\frac{\Delta l_{а.ц.к}}{l_{а.ц.к}} = \frac{\Delta l_{цк}}{l_{цк}} + \frac{\sigma_{цк}}{E_{цк}}; \quad (9)$$

$$\frac{\Delta V_{а.ц.к}}{V_{а.ц.к}} = 3 \left( \frac{\Delta l_{цк}}{l_{цк}} + \frac{\sigma_{цк}}{E_{цк}} \right); \quad (10)$$

$$E_{а.ц.к} = E_f A_f + E_{цк} (1 - A_f), \quad (11)$$

где  $\sigma_f$  и  $\sigma_p$  – микроструктурные напряжения в волокне фибры и растворе;  $\frac{\Delta l_f}{l_f}$  и  $\frac{\Delta l_{цк}}{l_{цк}}$  –

линейные термические или радиационные деформации волокон фибры и цементного камня фибробетона.

$\frac{\Delta l_{а.ц.к}}{l_{а.ц.к}}$  и  $\frac{\Delta V_{а.ц.к}}{V_{а.ц.к}}$  – термические или радиационные изменения размеров армированного

фиброй цементного камня;  $E_f$  и  $E_{цк}$  – модули упругости волокон фибры и цементного камня фибробетона;

$$A_f = d_f / C_f - \text{при } d_f \geq d;$$

$$A_f = (\pi d_f^2 / 4) / (d C_f) \text{ при } d_f < d.$$

В случае если  $\sigma_{цк} > R_{цк}$  – прочность на растяжение цементного камня, то нужно принимать, что  $\sigma_{цк} = R_{цк}$ , так как напряжения будут релаксировать за счет образования трещин. Если  $\sigma_f > R_{ну}$ , то  $\sigma_f = R_{ну}$ .

При среднем расстоянии между волокнами фибры большим средним размером зерен заполнителя волокна фибры будут располагаться не во всех прослойках песка. В этом случае при радиационном и термическом воздействии большинство зерен песка взаимодействует с неармированными прослойками цементного камня, а большинство волокон фибры – с раствором (матрицей фибробетона).

В этом случае по исходной модели работ [2-5] (без учета слагаемых, содержащих напряжения) можно определить радиационные и термические изменения раствора (матрицы фибробетона) по данным изменения неармированного цементного камня и песка. Затем с использованием модели работы [8] определяются радиационные и термические изменения фибробетона по данным об изменения фибры и неармированного раствора.

Применительно к фибробетону эта модель может рассматриваться как круглый стержень, окруженный цилиндрической оболочкой из раствора (матрицы) (рис. 5.) и поперечные параметры модели можно принять равными:

- диаметр стержня модели –  $d_f$  – диаметр волокна фибры;
- диаметр всей модели –  $C_f$  – среднее расстояние между волокнами фибры;
- относительная площадь сечения стержня-волокна фибры по отношению к общей площади модели  $A_n = (\pi d_f^2 / 4) / (\pi C_f^2 / 4) = (d_f / C_f)^2 = A_f$ .

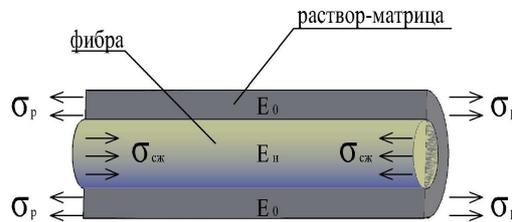


Рисунок 5 – Модель, аналогичная модели работы [7] в виде круглого стержня, окруженного оболочкой

Если пренебречь радиальными и тангенциальными напряжениями модели в поперечном направлении, нормальные напряжения в элементах фибробетона, деформации и модуль упругости фибробетона в наиболее интересующем продольном направлении модели в соответствии с этой моделью определяются выражениями:

$$\sigma_f = \left( \frac{\Delta l_p}{l_p} - \frac{\Delta l_f}{l_f} \right) \frac{E_f E_p (1 - A_f)}{(1 - A_f) E_p + A_f E_f}; \quad (6)$$

$$\sigma_p = \left( \frac{\Delta l_f}{l_f} - \frac{\Delta l_p}{l_p} \right) \frac{E_f E_p A_f}{(1 - A_f) E_p + A_f E_f}; \quad (7)$$

$$\frac{\Delta l_{\text{фб}}}{l_{\text{фб}}} = \frac{\Delta l_p}{l_p} + \frac{\sigma_p}{E_p}; \quad (8)$$

$$\frac{\Delta V_{\text{фб}}}{V_{\text{фб}}} = 3 \left( \frac{\Delta l_p}{l_p} + \frac{\sigma_p}{E_p} \right); \quad (9)$$

$$E_{\text{фб}} = E_f A_f + E_p (1 - A_f), \quad (10)$$

где  $\sigma_f$  и  $\sigma_p$  – микроструктурные напряжения в волокне фибры и растворе;  $\frac{\Delta l_f}{l_f}$  и  $\frac{\Delta l_p}{l_p}$  –

линейные термические или радиационные деформации волокон фибры и раствора-матрицы фибробетона.

$\frac{\Delta l_{\text{фб}}}{l_{\text{фб}}}$  и  $\frac{\Delta V_{\text{фб}}}{V_{\text{фб}}}$  – термические или радиационные изменения размеров фибробетона;  $E_f$  и

$E_p$  – модули упругости волокон фибры и раствора – матрицы фибробетона;  $A_f = (d_f / C_f)^2$ .

В случае, если  $\sigma_p > R_p$ , то  $\sigma_p = R_p$ , так как напряжения будут релаксировать за счет образования трещин.

Если  $\sigma_f > R_{ну}$ , то  $\sigma_f = R_{ну}$ .

Для определения радиационных и термических изменений прочности фибробетона можно воспользоваться формулами работ [2-5] для расчета радиационных и термических изменений бетонов и растворов, используя величину  $V_{тр.фб.}$ . Правда для этого потребуется предварительно определить на основе тех же формул остаточную прочность облученного или подвергнутого нагреванию цементного камня с фиброй. Кроме того для использования этих формул для фибробетона будет необходимо расчетным или экспериментальным путем уточнить их коэффициенты.

В настоящее время проводятся экспериментальные исследования по проверке и корректировке предложенной модели и коэффициентов формул работ [2-8] для фибробетона и оценке возможности ее использования для конструкций АЭС.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Красновский, Р.О. Фибробетон – новый материал для строительства АЭС [Текст] / Р.О. Красновский, А.В. Денисов, К.В. Рогачев. – М.: Энергетик. – 2013. – №12. – С. 46-47.
2. Музалевский, Л.П. Радиационные изменения тяжелых бетонов и метод их аналитического определения: дис. ... канд. техн. наук. – М.: МИСИ им. В. В.Куйбышева, 1989.
3. Музалевский, Л.П. Прогнозирование степени изменения прочности и радиационных деформаций бетона. Защита от ионизирующих излучений ядерно-технических установок [Текст] // Л.П. Музалевский // Труды Третьей Всесоюзной научной конференции по защите от ионизирующих излучений ядерно-технических установок, 27-29 октября 1985 г. – Тбилиси, ТГУ, 1985. – С. 116-125.
4. Денисов, А.В. Прогнозирование радиационных изменений неорганических строительных материалов [Текст] / А.В. Денисов, В.Б. Дубровский, Л.П. Музалевский // Вопросы атомной науки и техники. Сер. Проектирование и строительство, 1990. – вып. 3. – С. 98-102.
5. Денисов, А.В. Радиационная стойкость минеральных и полимерных строительных материалов [Текст] / А.В. Денисов, В.Б. Дубровский, В.Н. Соловьев. – М. Издательский дом МЭИ, 2012. – 384 с.
6. Горчаков, Г.И. Коэффициенты температурного расширения и температурные деформации строительных материалов [Текст] / Г.И. Горчаков, И.И. Лифанов, Л.Н. Терехин. – М.: Комитет стандартов, 1968. – 167 с.
7. Горчаков, Г.И. Состав, структура и свойства цементных бетонов [Текст]: под ред. Г. И. Горчакова. – М: Стройиздат, 1978. – 45 с.
8. Ржевский, В.В. Основы физики горных пород [Текст] / В.В. Ржевский, Г.Я. Новик. – М.: Недра, 1974. – 286 с.

#### Денисов Александр Викторович

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент, профессор

Тел.: +7 910 451 09 42

E-mail: den-al-v@inbox.ru

#### Рогачев Константин Викторович

ЗАО «Институт «Оргэнергострой», г. Москва

Аспирант

Тел.: +7 926 280 29 09

E-mail: rogachevkv@ioes.ru

A. DENISOV, K. ROGACHEV

## INFLUENCE OF THE DISPERSE REINFORCEMENT PARAMETERS OF FIBER-REINFORCED CONCRETE TO THE ANALYTICAL DETERMINATION OF THERMAL AND RADIATION CHANGES

*The questions of analytical determination of radiation and thermal deformation and strength of fiber-reinforced concrete changes due to the planned use of fiber-reinforced concrete structures in the*

construction of nuclear power plants are described in the article. On the basis of the existing models for the analytical determination of changes in concrete and mortar under the influence of heat and radiation exposure the fiber-reinforced concrete structure models for the analytical determination of its thermal radiation, and changes according to the changes of materials that make up the fiber concrete are developed. It is shown that the form of fiber-reinforced concrete developed models and their mathematical apparatus depends on the parameters of the particulate reinforcement, the main of which is the average distance between the fibers and the fibers of his relationship with an average grain size of aggregate (sand) of fiber-reinforced concrete. Two main cases of relations between these parameters are distinguished: distance between the fibers when the fibers are comparable to the distance between the grains of the filler and less of it as well as when the distance between the fibers of fiber is greater than the distance between grains of filler. The basic mathematical expression for the analytical determination of radiation and thermal fiber concrete changes according to the changes of its components for the two cases is shown.

**Keywords:** fiber concrete, radiation and thermal changes, model.

## BIBLIOGRAPHY

1. Krasnovskij, R.O. Fibrobeton – novyj material dlja stroitel'stva AJeS [Tekst] / R.O. Krasnovskij, A.V. Denisov, K.V. Rogachev. – M.: Jenergetik. – 2013. – №12. – S. 46-47.
2. Muzalevskij, L.P. Radiacionnye izmenenija tjazhelyh betonov i metod ih analiticheskogo opredelenija: dis. ... kand. tehn. nauk. – M.: MISI im. V. V.Kujbysheva, 1989.
3. Muzalevskij, L.P. Prognozirovanie stepeni izmenenija prochnosti i radiacionnyh deformacij betona. Zashhita ot ionizirujushhij izluchenij jaderno-tehnicheskijh ustanovok [Tekst] // L.P. Muzalevskij // Trudy Tret'ej Vsesojuznoj nauchnoj konferencii po zashhite ot ionizirujushhij izluchenij jaderno-tehnicheskijh ustanovok, 27-29 oktjabrja 1985 g. – Tbilisi, TGU, 1985. – S. 116-125.
4. Denisov, A.V. Prognozirovanie radiacionnyh izmenenij neorganicheskijh stroitel'nyh materialov [Tekst] / A.V. Denisov, V.B. Dubrovskij, L.P. Muzalevskij // Voprosy atomnoj nauki i tehniki. Ser. Proektirovanie i stroitel'stvo, 1990. – vyp. 3. – S. 98-102.
5. Denisov, A.V. Radiacionnaja stojkost' mineral'nyh i polimernyh stroitel'nyh materialov [Tekst] / A.V. Denisov, V.B. Dubrovskij, V.N. Solov'ev. – M. Izdatel'skij dom MJeI, 2012. – 384 s.
6. Gorchakov, G.I. Kojefficienty temperaturного rasshirenija i temperaturnye deformacii stroitel'nyh materialov [Tekst] / G.I. Gorchakov, I.I. Lifanov, L.N. Terehin. – M.: Komitet standartov, 1968. – 167 s.
7. Gorchakov, G.I. Sostav, struktura i svojstva cementnyh betonov [Tekst]: pod red. G. I. Gorchakova. – M: Strojizdat, 1978. – 45 s.
8. Rzhhevskij, V.V. Osnovy fiziki gornih porod [Tekst] / V.V. Rzhhevskij, G.Ja. Novik. – M.: Nedra, 1974. – 286 s.

### A. Denisov

Moscow state construction university, Moscow  
Candidate of technical sciences, associate professor  
Ph.:+7 910 451 09 42  
E-mail: den-al-v@inbox.ru

### K. Rogachev

ЗАО «Институт «Оргэнергострой», Moscow  
Graduate  
Ph.:+7 926 280 29 09  
E-mail: rogachevk@ioes.ru

КАРПЕНКО Н.И., МИШИНА А.В.,  
ТРАВУШ В.И.

## ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОПРОЧНОГО СТАЛЕФИБРОБЕТОНА

*В статье представлены результаты экспериментального исследования физико-механических и реологических свойств высокопрочного сталефибробетона. В программу исследования входили кратковременные испытания для определения прочностных характеристик, а также длительные испытания для определения деформаций усадки и ползучести. Все испытания проводились на образцах различного возраста, что позволило определить динамику изменения свойств материала и получить аналитические выражения для определения зависимости физико-механических и реологических характеристик от возраста бетона.*

**Ключевые слова:** высокопрочный сталефибробетон, экспериментальные исследования, возраст бетона, прочность на сжатие, ползучесть, усадка, мера ползучести.

### Введение

Сталефибробетон вызывает все больший интерес у проектировщиков как строительный материал, обладающий положительными качествами обычного бетона, при этом минимизирующий его слабые стороны. Поэтому неудивительно, что ученые всего мира занимаются исследованиями сталефибробетона различного состава. В лаборатории НИИСФ совместно с МГСУ были проведены масштабные экспериментальные исследования физико-механических и реологических свойств высокопрочного сталефибробетона на основе порошкового высокопрочного бетона.

Состав исследуемого бетона, представленный в таблице 1, был разработан в НИИЖБ. В качестве матрицы был использован высокопрочный модифицированный бетон, оптимальное количество добавляемой фибры определялось путем экспериментальных исследований [1].

Таблица 1 – Состав и свойства бетонной смеси

Фактический состав бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>					Плотность бетонной смеси, кг/м <sup>3</sup>	Расплав конуса, см	В/Ц
Цемент	Модификатор МБ3-50К	Песок	Стальная фибра	Вода			
850	350	830	180	180	2405	75	0,21

Для всестороннего исследования высокопрочного порошкового сталефибробетона была разработана программа испытаний, включающая кратковременные и длительные загрузки образцов в различном возрасте (рис. 1).

Бетонирование и хранение образцов в первые двое суток происходило при температуре 20°C. Через двое суток образцы распалубливали и укладывали во влажные опилки в помещении с нормальной температурой 20±2°C.

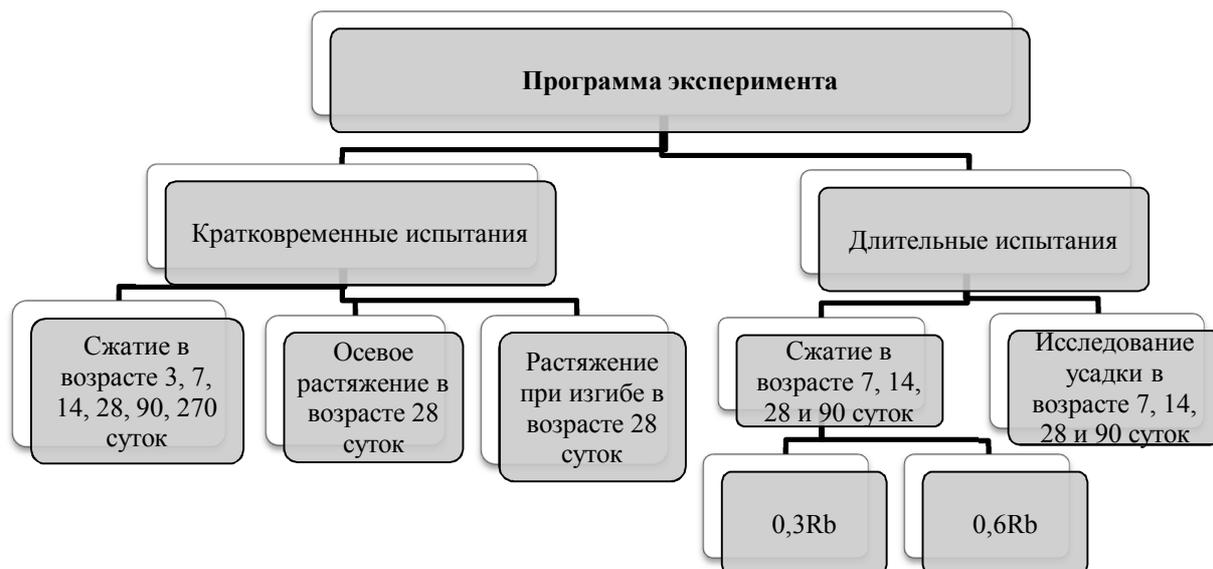


Рисунок 1 – Программа эксперимента

### 1.1. Кратковременные испытания

С целью изучения физико-механических свойств сталефибробетона были проведены испытания кубов и призм на сжатие в возрасте 3, 7, 14, 28, 90 и 270 суток.

Образы до и после испытания представлены на рисунке 2.

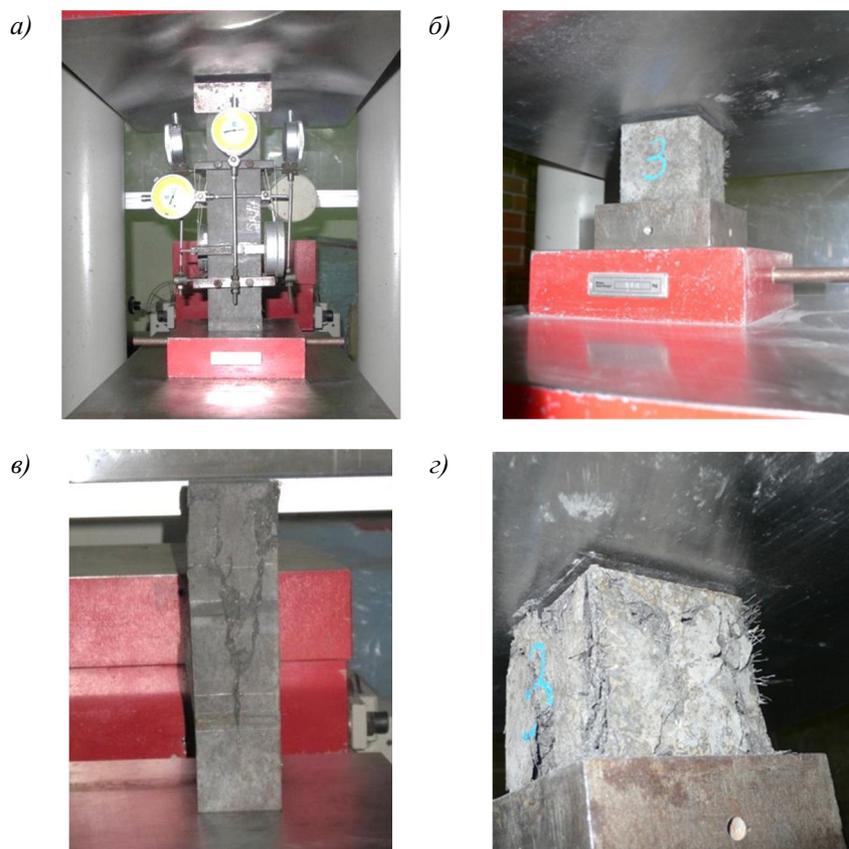


Рисунок 2 – Призмный и кубический образцы перед испытанием (а, б) и после испытания (в, г)

Средние значения полученных основных физико-механических характеристик для образцов каждого возраста, а также значения условного класса бетона по прочности на сжатие приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Физико-механические свойства высокопрочного сталефибробетона по результатам кратковременных испытаний

Возраст бетона, сут.	Прочность, МПа				$E \times 10^3$ , МПа	Класс бетона
	$R$ , МПа	$R_b$ , МПа	$R_t$ , МПа	$R_{t_f}$ , МПа		
3	90,5	75,3			38,2	72
7	130,1	110,1			43,4	104
14	143,5	121,4			44,4	115
28	150,2	128,6			46,1	120
28 (10×10×40см)	157,4	149,7	7.0	20.8	45,7	126
90	151,3	138,8			48,2	121
270	170,0	136,7			45.6	137

где  $R$  – кубиковая прочность;  $R_b$  – призмная прочность;  $R_t$  – прочность на осевое растяжение;  $R_{t_f}$  – прочность на растяжение при изгибе;  $E$  – модуль упругости бетона.

По полученным значениям можно сделать вывод, что сталефибробетон при твердении очень быстро набирает прочность, так как уже в возрасте 3 суток его призмная прочность составляет 58% от прочности в 28 суток. Прочность сталефибробетона на осевое растяжение составила 4,7% от прочности на сжатие, что чуть меньше, чем у традиционных бетонов (5% для В60). Это хороший показатель, учитывая класс исследуемого бетона В120.

Для теоретического описания роста прочности предлагаются следующие формулы:

1. Модифицированная формула Щербакова:

$$R_b(t) = R_b(28) \left[ 1 + \frac{23}{55 + B} \cdot \left( \frac{t - 28}{t + 5} \right) \right], \quad (1)$$

где  $R_b(t)$  – призмная прочность бетона на сжатие в возрасте  $t$ , МПа;  $R_b(28)$  – призмная прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток, МПа;  $B$  – класс бетона по прочности на сжатие, МПа;  $t$  – возраст бетона к моменту испытания, сут.

2. Формула, подобранная на основе экспериментальных данных

$$R_b(t) = R_b(28) \cdot \frac{t}{2,3 + 0,92 \cdot t}. \quad (2)$$

Экспериментальные и теоретические кривые изменения прочности исследуемого бетона приведены на рисунке 3.

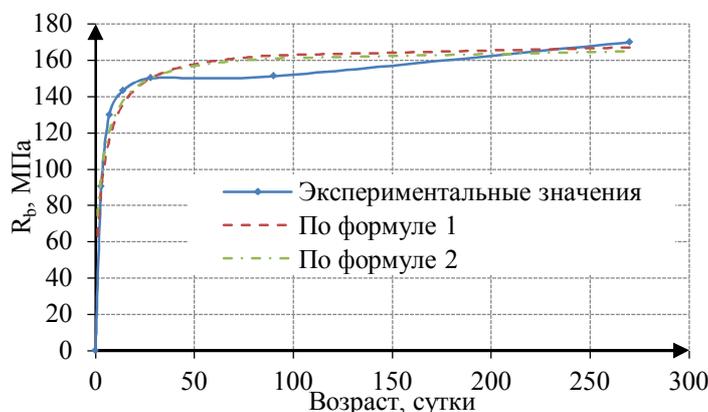


Рисунок 3 – Рост призмной прочности в зависимости от возраста бетона

1.2. Длительные испытания

1.2.1. Исследование усадки

Исследования ползучести неразрывно связаны с изучением усадки бетона. Учет деформации усадки начинался также в возрасте 7, 14, 28 и 90 суток, образцы были гидроизолированы и оборудованы измерительными приборами. Для каждого возраста предусматривалось по 2 усадочных образца, относительные деформации которых в процессе обработки усредняли.

В результате были построены кривые изменения деформаций ползучести во времени. Главной особенностью усадки сталефибробетона является то, что первые несколько суток после начала учета усадки, ее деформации набегают стремительно, затем колеблются относительно примерно одного значения. Значения предельных деформаций усадки сталефибробетона представлены в таблице 3. Наиболее существенно усадка проявляется в раннем возрасте, а уже при ее учете в 14 суток и старше она составляет всего  $5 \times 10^{-5}$  единиц и продолжает уменьшаться.

Теоретическое описание изменения деформаций усадки во времени проводилось по формуле [3]:

$$\varepsilon_{bs}(t, t_w) = \varepsilon_{bs}(\infty, t_w) \cdot \left[ 1 - e^{-\alpha(t-t_w)} \right] \cdot \left[ \frac{A}{e^{\gamma(t-t_w)} + 1} \right], \quad (3)$$

где  $\varepsilon_{bs}(\infty, t_w)$  – предельные деформации усадки в возрасте  $t_w$ ;  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $A$  – коэффициенты, подбираемые из условия наилучшего совпадения теоретических и экспериментальных кривых (табл. 3).

Таблица 3 – Значения предельных деформаций усадки и коэффициентов для формулы (3)

	Возраст начала учета деформаций усадки, сутки			
	7	14	28	90
$\varepsilon_{yc}^{\infty} \cdot 10^{-5}$	17,4	5,0	4,5	3,0
$\gamma$	0,058	0,058	0,07	0,07
$\alpha$	0,027	0,027	0,018	0,018
A	4	4	2	2

Как видно, значения для сталефибробетона раннего возраста (7 и 14 суток) совпадают, как и значения для более старого возраста (28 и 90 суток) совпадают между собой.

Также для аппроксимации опытных данных была использована формула из [2]:

$$(\varepsilon_{sh})_t = \frac{t^{\alpha}}{f + t^{\alpha}} \cdot (\varepsilon_{sh})_u, \quad (4)$$

где  $\alpha$ ,  $f$  (сутки) – константы, определяющие зависимость от времени  $t$ ;  $(\varepsilon_{sh})_u$  – предельное значение усадки.

Стандарт [2] рекомендует для обычного бетона значения  $\alpha=0,9-1,1$ ;  $f=20-130$  суток,  $(\varepsilon_{sh})_u = 415 \times 10^{-6} - 1070 \times 10^{-6}$ . Поскольку полученные предельные значения усадки сталефибробетона гораздо меньше, коэффициенты были подобраны заново. Для всех возрастов  $f=30$  суток,  $\alpha=2,2$  для 7 и 14 суток и  $\alpha=1,1$  для 28 и 90 суток. Сравнение экспериментальных данных и значений деформаций, полученных с помощью формул (3), (4), представлено на рисунке 4.

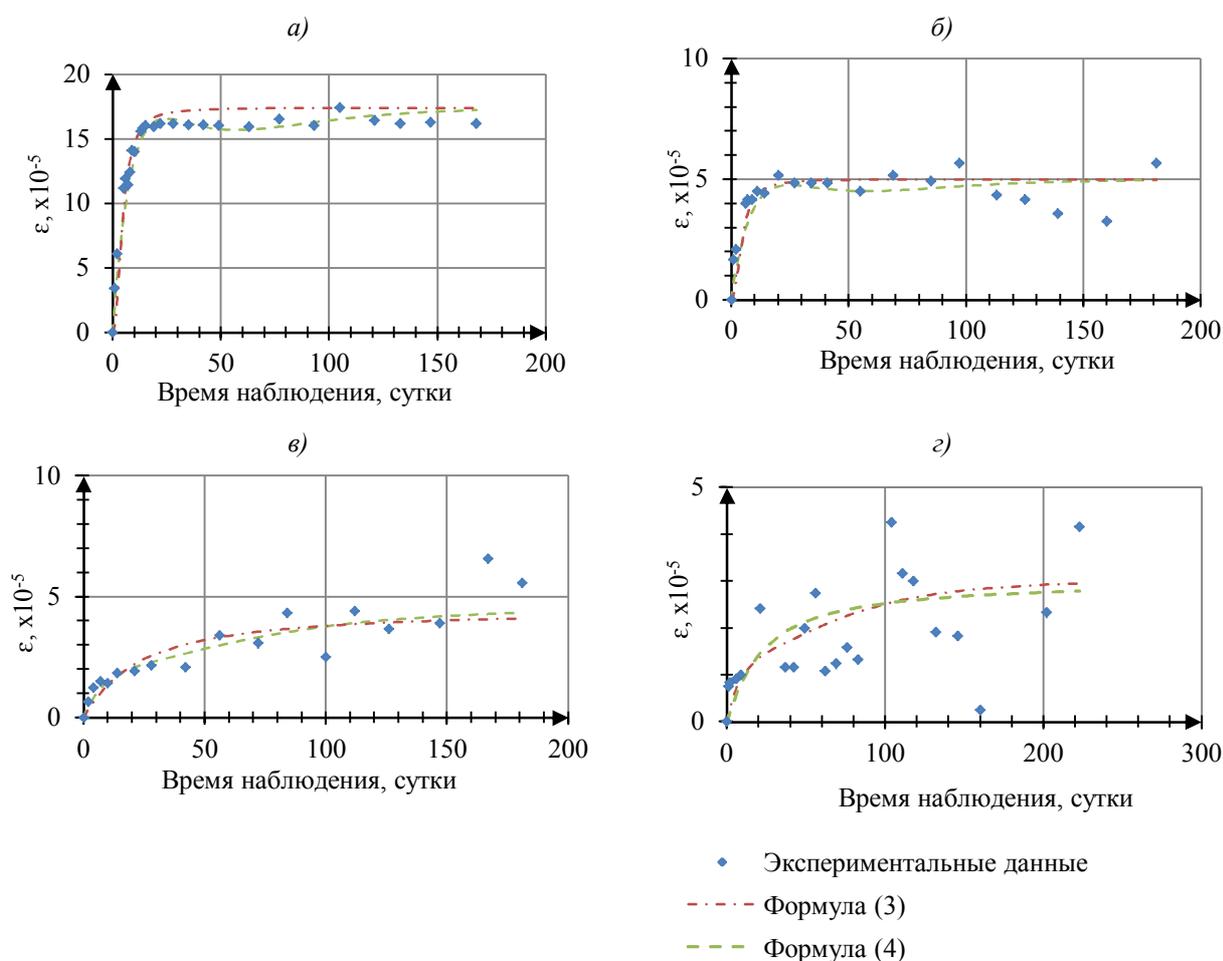


Рисунок 4 – Диаграммы изменения деформаций усадки, учитывающиеся с возрастом: а – 7 суток; б – 14 суток; в – 28 суток; г – 90 суток

### 1.2.2. Исследование ползучести

Сталефибробетонные образцы-призмы размером  $7 \times 7 \times 28$  см. загружались в возрасте 7, 14, 28 и 90 суток нагрузкой, соответствующей 0,3 и 0,6 от призмной прочности, определенной в день загрузки. На рисунке 5 показан образец перед испытанием. Нагружение проводилось ступенчато, приложением по 10% от заданного уровня нагрузки на каждой ступени. После загрузки образцы выдерживались под нагрузкой в течение 245 суток.

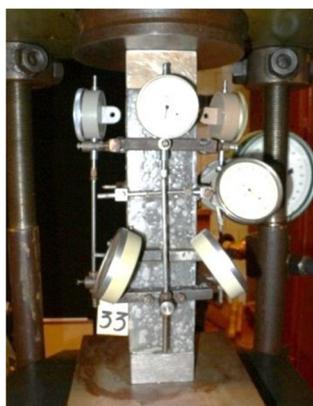


Рисунок 5 – Призмный образец перед испытанием длительной нагрузкой

По показаниям установленных приборов были вычислены средние относительные деформации усадки и ползучести для образцов каждого возраста при разных режимах загрузки

ния. Исходя из уровня приложенной нагрузки, были получены диаграммы изменения мер ползучести во времени, а также вычислены их предельные значения, представленные в таблице 4.

Таблица 4 – Значение предельных значений деформаций и мер ползучести

Показатель	7 суток		14 суток		28 суток		90 суток	
	0,3Rb	0,6Rb	0,3Rb	0,6Rb	0,3Rb	0,6Rb	0,3Rb	0,6Rb
$\epsilon_{н.пред} \cdot 10^{-5}$	77	218	81	200	73	193	68	179
$C_{(\infty, \tau)} \cdot 10^{-5}, \text{ МПа}^{-1}$	2.33	3.3	2.25	2.78	1.87	2.47	1.62	2.13

Теоретическое описание полученных диаграмм изменения мер линейной ползучести во времени проводилось по двум методикам:

1. Методика В.М. Бондаренко и Н.И. Карпенко, суть которой выражается в формуле [4]:

$$C_0(\eta, t, \tau) = C_0(\eta, \infty, \tau) - \frac{C_0(\eta, \infty, \tau) - C_0(\eta, \tau, \tau)}{\left[1 + \alpha \frac{m-1}{s+1} (\tilde{t}^{s+1} - 1)\right]^{\frac{1}{m-1}}}, \quad (5)$$

где  $C_0(\eta, \tau, t)$  – мера ползучести в момент времени  $t$ ;  $C_0(\eta, \infty, t)$  – предельная мера ползучести при  $t \rightarrow \infty$ ;  $C_0(\eta, \tau, \tau)$  – дефицит меры ползучести;  $\tau$  – возраст бетона;  $t$  – время нагружения;  $\eta = \frac{\sigma_c}{R_b(\tau)}$  –

уровень напряжения;  $\tilde{t} = \frac{\tau}{t}$  – относительное время нагружения;  $\alpha, m, s$  – эмпирические параметры, зависящие от времени и уровня нагружения.

Особенность этого метода в том, что он учитывает нелинейность деформаций ползучести, возникающей при высоких уровнях напряжения.

Значения  $C_0(\eta, \infty, t)$  и  $C_0(\eta, \tau, \tau)$  принимались на основании экспериментальных данных, эмпирические параметры  $\alpha, m, s$  подбирались из условия наилучшего совпадения теоретических и экспериментальных кривых.

2. Метод И.Е. Прокоповича и М.М. Заставы [5]:

$$C_0(t, t_0) = C(\infty, 28) \cdot \Omega(t_0) \cdot f(t, t_0), \quad (6)$$

где  $C(\infty, 28)$  – предельное значение линейной меры ползучести бетона, загруженного в возрасте 28 суток;  $\Omega(t_0)$  – функция старения, учитывающая влияние возраста загрузки на предельное значение меры ползучести:

$$\Omega(t_0) = 0,5 + d \cdot e^{(-2\gamma_1 t_0)}, \quad (7)$$

$f(t, t_0)$  – функция, учитывающая развитие деформаций ползучести во времени:

$$f(t, t_0) = 1 - D \cdot e^{-a_1 \cdot (t-t_0)} - B \cdot e^{-\gamma_1 \cdot (t-t_0)}, \quad (8)$$

где  $D, a, d, \gamma$  – эмпирические параметры, подбираемые на основании экспериментальных данных.

Для обоих методов были подобраны эмпирические коэффициенты (табл. 5, 6), позволяющие применять их для теоретического построения изменения мер ползучести.

Таблица 5 – Значение коэффициентов для формулы (5)

Возраст, сут.	s		a		m	
	0,3Rb	0,6Rb	0,3Rb	0,6Rb	0,3Rb	0,6Rb
7	3,3	3,9	3,0	5,3	9,46	10,04
14	3,2	3,8	5,8	7,1	9,2	10,1
28	4,8	6,4	5,4	5,5	8,8	9,9
90	6,1	7,4	7,3	7,3	6,7	8

Таблица 6 – Значения коэффициентов для формул (6)-(8)

Возраст, сут.	$D$	$B=1-D$	$a$	$d$	$\gamma_1$
7	0,476	0,524	0,45	0,537	0,01
14	0,335	0,665	0,525	0,582	0,01
28	0,387	0,613	0,525	0,800	0,01
90	0,290	0,710	0,595	2,350	0,01

Используя этот метод для построения диаграмм изменения меры ползучести при высоких уровнях напряжения необходимо учитывать нелинейность деформаций ползучести. Мера нелинейной ползучести представляется в виде произведения меры линейной ползучести и функции нелинейности:

$$C(\eta, t, \tau) = f(\eta, \tau) \cdot C'(t, \tau), \quad (9)$$

где  $C(\eta, t, \tau)$  – текущая мера ползучести;  $f(\eta, \tau)$  – функция нелинейности;  $C'(t, \tau)$  – линейная мера ползучести.

Функция нелинейности может быть представлена в следующем виде:

$$f_c = 1 + kV_c \frac{\eta^4(t, \tau)}{\sqrt{1 - ae^{-\gamma_1(t-\tau)}}}, \quad (10)$$

где  $V_c$  – коэффициент, зависящий от вида бетона;  $k, a$  – эмпирические коэффициенты.

Значение коэффициентов подбирались на основании наилучшей сходимости экспериментальных и теоретических данных (табл. 6).

Таблица 7 – Значение коэффициентов для формулы (10)

$\tau$ , сут.	$k$	$a$	$V_c$
7	1	0,3	3,55
14	1	0,3	2,41
28	1	0,3	2,44
90	1	0,3	2,55

Результаты теоретической обработки экспериментальных данных изменения мер ползучести высокопрочного сталефибробетона представлены на рисунках 6, 7.

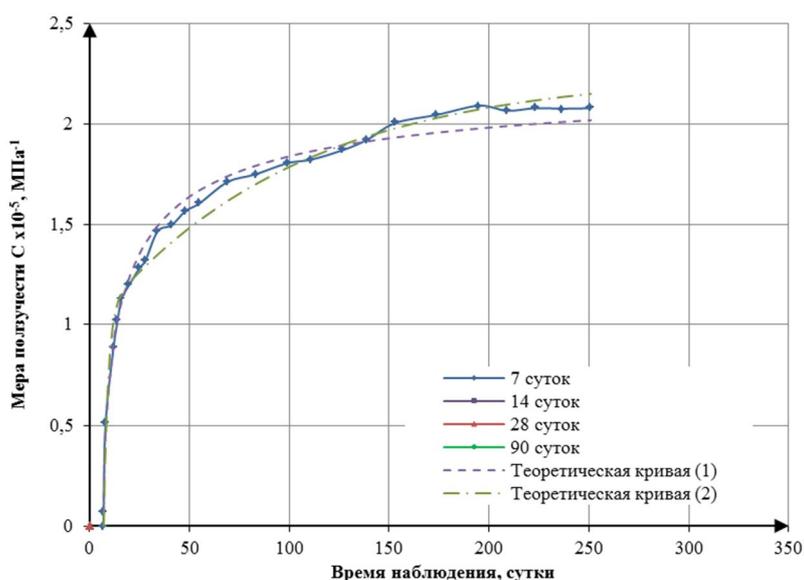


Рисунок 6 – Экспериментальные и теоретические кривые изменения мер ползучести образцов, нагруженных уровнем нагрузки, соответствующим  $0,3 R_b$

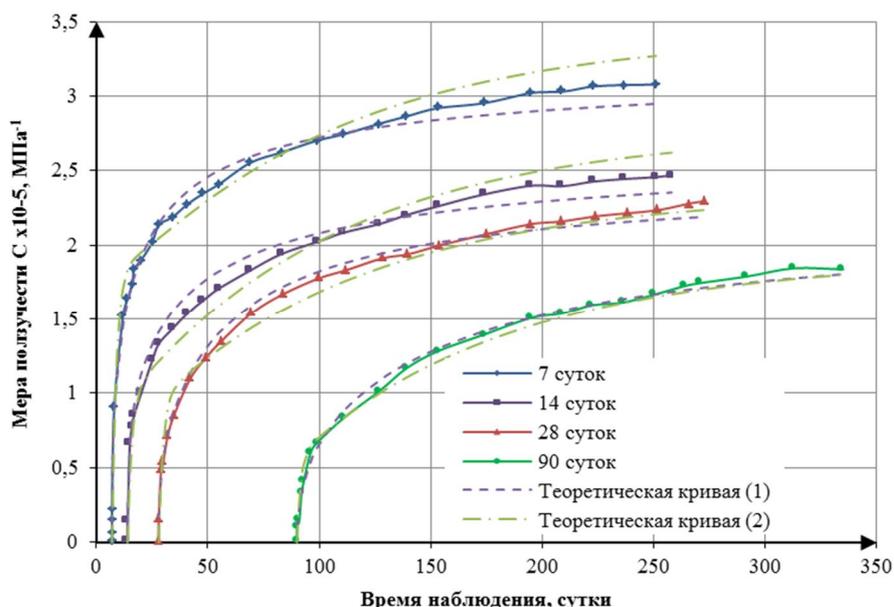


Рисунок 7 – Экспериментальные и теоретические кривые изменения мер ползучести образцов, нагруженных уровнем нагрузки, соответствующим  $0,6 R_b$

### Выводы.

Проведено масштабное исследование физико-механических и реологических свойств инновационного материала – высокопрочного сталефибробетона. Получены зависимости, позволяющие описать рост прочности сталефибробетона, изменение усадки и мер ползучести сталефибробетона во времени.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каприелов С.С. Сверхвысокопрочный самоуплотняющийся фибробетон для монолитных конструкций [Текст] / С.С. Каприелов, И.А. Чилин //Строительные материалы. – 7 (2013). – С. 28-30.
2. ACI 209R-92 «Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures».
3. Карпенко, Н.И. Общие модели механики железобетона [Текст] / Н.И. Карпенко. – М.: Стройиздат, 1996.
4. Бондаренко, В.М. Уровень напряженного состояния как фактор структурных изменений и реологического силового сопротивления бетона [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.И. Карпенко //Academia. Архитектура и строительство. – М.: РААСН. – 2007. – №4.
5. Прокопович, И.Е. О расчётном определении предельных длительных деформаций тяжелого бетона [Текст] / И.Е. Прокопович, М.М. Застава // Бетон и железобетон. – М., 1972. – №5. – С. 35-37.

#### Карпенко Николай Иванович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
 Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией  
 E-mail: niisf\_lab9@mail.ru

#### Мишина Александра Васильевна

Городской проектный институт жилых и общественных зданий ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва  
 Кандидат технических наук  
 E-mail: amis25@mail.ru

#### Травуш Владимир Ильич

Городской проектный институт жилых и общественных зданий ЗАО «ГОРПРОЕКТ», г. Москва  
 Доктор технических наук, профессор, главный конструктор  
 E-mail: travush@mail.ru

N. KARPENKO, A. MISHINA, V. TRAVUSH

## THE AGE INFLUENCE TO THE PHYSICAL, MECHANICAL AND RHEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF HIGH-STRENGTH STEEL-FIBER-CONCRETE

*The paper presents the results of experimental study focused on physical, mechanical and rheological characteristics of high strength steel fiber reinforced concrete. The research program included short-term tests to determine strength properties as well as long-term test to obtain shrinkage and creep deformation. All tests were carried out on the different age specimens, so the time history of material properties was determined and analytic expressions of physical, mechanical and rheological properties dependence on concrete age were developed.*

**Keywords:** *high strength steel fiber reinforced concrete, experimental studies, concrete age, compressive strength, creep, shrinkage, creep degree.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Kaprielov S.S. Sverhvysokoprochnyj samouplotnjajushhij fibrobeton dlja monolitnyh konstrukcij [Tekst] / S.S. Kaprielov, I.A. Chilin // Stroitel'nye materialy. – 7 (2013). – S. 28-30.
2. ACI 209R-92 «Prediction of Creep, Shrinkage, and Temperature Effects in Concrete Structures».
3. Karpenko, N.I. Obshhie modeli mehaniki zhelezobetona [Tekst] / N.I. Karpenko. – M.: Strojizdat, 1996.
4. Bondarenko, V.M. Uroven' naprjazhennogo sostojanija kak faktor strukturnyh izmenenij i reologicheskogo silovogo soprotivlenija betona [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.I. Karpenko // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M.: RAASN. – 2007. – №4.
5. Prokopovich, I.E. O raschjotnom opredelenii predel'nyh dlitel'nyh deformatsij tjazhelogo betona [Tekst] / I.E. Prokopovich, M.M. Zastava // Beton i zhelezobeton. – M., 1972. – №5. – S. 35-37.

#### **N. Karpenko**

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and construction Sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, professor, head of laboratory  
E-mail: niisf\_lab9@mail.ru

#### **A. Mishina**

Urban design institute of residential and public buildings ЗАО «ГОПИПРОЕКТ», Moscow  
Candidate of technical sciences  
E-mail: amis25@mail.ru

#### **V. Travush**

Urban design institute of residential and public buildings ЗАО «ГОПИПРОЕКТ», Moscow  
Doctor of technical sciences, professor, chief designer  
E-mail: travush@mail.ru

КУПЧИКОВА Н.В.

## ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ДОПОЛНЕНИЮ КЛАССИФИКАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ГОТОВЫХ И НАБИВНЫХ СВАЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМИ УШИРЕНИЯМИ И НАКЛОННЫМИ БОКОВЫМИ СВАЯМИ

*Проведены исследования по внедрению в строительном производстве свайных фундаментов с поверхностными уширениями и свай «расширяющихся» кверху, определена их эффективность работы в структурно-неустойчивых грунтах. Выполнен сравнительный анализ результатов натурных экспериментов и результатов численных исследований. Построен график зависимости осадки для пяти видов свай с поверхностными уширениями от вертикального нагружения. Предложена к дискуссии классификация конструкций готовых и набивных свай с поверхностными уширениями, в том числе свай с наклонными боковыми гранями применяемых в строительстве для слабых грунтов.*

**Ключевые слова:** свайный фундамент с поверхностными уширениями, эксперимент, напряжённо-деформированное состояние, конструктивно-технологическая эффективность.

В определённых грунтовых условиях строительства классический свайный фундамент не всегда может обеспечить требуемую несущую способность сооружения, поэтому в современных технологиях возведения фундаментов глубокого заложения имеет значение внедрение конструкций свай с уширениями или усиливающими элементами. В настоящее время на практике значительно повышается эффективность свайного фундаментостроения при решении нестандартных проектных задач, когда в несвязных переувлажнённых грунтах актуальным становится применение свай с наклонными боковыми гранями и поверхностными уширениями, поэтому необходимость более полной по сравнению с существующими классификациями свай с уширениями обусловлена применением прогрессивных конструктивно-технологических решений по выбору рациональных форм усиливающих элементов с максимальной удельной несущей способностью, низкой себестоимостью и материалоёмкостью.

Основной целью исследования явилось построение классификации конструкций готовых и набивных свай с оптимальными параметрами конструктивно-технологических решений поверхностных уширений, расположенных у головы свай, в том числе свай «расширяющихся» кверху – с наклонными боковыми гранями и углами сбега, применяемых в строительстве для структурно-неустойчивых грунтов.

Терминология «свая с уширением вверху», как показал анализ ведущих научных и периодических изданий по фундаментостроению, объединяет большое количество различных конструктивных решений свай, с однообразностью деформирования и уплотнения зон грунтового массива вокруг уширения и способов их устройства. К сваям «расширяющимся» кверху относят сваи с поверхностными уширениями, сваи с углами сбега и наклонными боковыми гранями, выполненные в готовом виде, набивном и комбинированном исполнении.

В учебной и научной литературе к сваям «расширяющимся» кверху относят также конструкции с «углом сбега граней» или «коничностью свай», которые называют так же углом сбега конуса, образующей по длине или наклонными боковыми гранями и измеряются углом наклона граней по отношению к продольной оси конструкции.

Повышенная несущая способность свай с наклонными боковыми гранями и поверхностными уширениями связана с уплотнением грунта, при их погружении и со спецификой взаимодействия сваи и грунта под нагрузкой, такие конструкции свай, при погружении, уплотняют грунт в пределах зоны уширения, что особенно эффективно в макропористых просадочных основаниях.

Экспериментальные исследования зоны уплотнения грунта вокруг погруженных свай с уширениями вверху проводились в разное время следующими учёными: А.А. Луга,

Б.И. Далматов, Т.М. Штоль, В.И. Теличенко, Р.А. Мангушев, А.И. Осокин, В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел, А.А. Землянский, О.С. Вознесенский, А.И. Сапожников, Н.В. Купчихова, В.Н. Голубков, В.К. Дмоховский, А.И. Моргун, Г.М. Смиренский и многие др.

Согласно СП 24.13330.2011 «Свайные фундаменты» представленная классификация видов свай, ограничивается лишь конструктивными решениями с уширениями, расположенными на нижнем конце и определением несущей способности пирамидальной сваи с наклонными боковыми гранями [1].

Классификационные характеристики конструкций фундаментов глубокого заложения основоположников отечественного и зарубежного свайного фундаментостроения А.А. Луги [2], Б.И. Далматова [3], Р.А. Мангушева [4,5], П.А. Коновалова [6], Э.В. Костерина [7], А.М. Силкина [8], Г.М. Смиренского [16], П.М. Ермишкина [17], Ю.Н. Платонова [26], А.С. Vesic [9], Н. А. Hirayama [10], I.I. Broid [11] и др. наиболее широко освещают конструкции набивных и буронабивных свай с уширениями, образованными под нижним концом сваи, с несколькими уширениями в нижней части и с расширенной частью на стволе.

В работе [12] предложена к дискуссии следующая классификация фундаментов глубокого заложения (рис. 1):

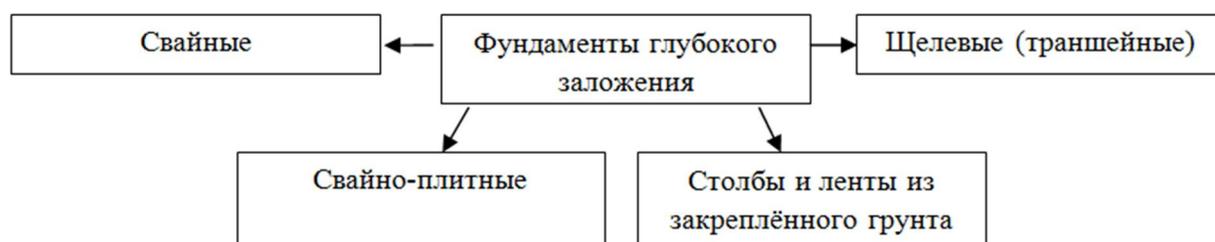


Рисунок 1 – Классификация фундаментов глубокого заложения по В.И. Крутову

Однако она не отражает всего многообразия конструкций свай, в особенности фундаментов с уширениями.

Наиболее подробно классификация конструкций свай представлена в работе [13], где они подразделяются по форме ствола и устройству уширения: вверху, на стволе, на нижнем конце и с несколькими уширениями (см. рис. 2). При этом по форме тела выделены отдельно пирамидальные, т.е. с наклонными гранями и ступенчатые сваи, однако не уточнены их конструктивные решения.

Исследования деформации грунтовых массивов в основании верхнего конца сваи и с наклонными гранями учёными проводились на разных этапах следующими методами:

- определением объёмных деформаций в основании сваи по изменению плотности грунта;
- определением характера и величин перемещений грунта в пределах зоны деформаций с помощью закладываемых в грунт фиксаторов;
- визуально посредством вскрытого основания сваи с фотографированием видимых изменений.
- постановкой глубинных марок;
- отбором образцов грунта режущими кольцами с определением объёмной массы скелета грунта;
- статической пенетрацией и зондированием;
- при помощи фиксаторов с последующим фотографированием видимых изменений;
- с помощью приборов неразрушающего контроля, основанных на измерении времени распространения импульсных ультразвуковых колебаний;
- аналитическими и численными методами проектирования и расчёта.

Это позволило наиболее эффективно выявить работу свайных фундаментов с поверхностными уширениями и их напряжённо-деформированное состояние в околосвайном массиве, сложенным различными типами грунтов.



Рисунок 2 – Классификация свай по М. Штолю, В.И. Теличенко, В.И. Фёклину

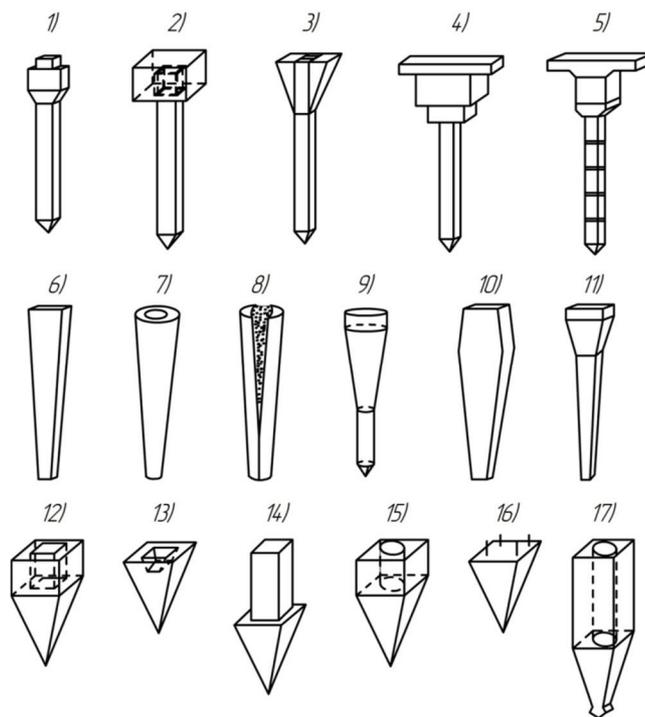


Рисунок 3 – Виды готовых железобетонных свай с уширениями вверху и наклонными боковыми гранями: 1 – с уширением на верхнем конце (Т.М. Штоль В.И Теличенко, В. И. Фёклин); 2 – призматическая свая с забивным оголовком (Б.И. Далматов, Ю.Н. Платонов); 3 – со сборными клиньями (А.И. Сапожников, Н.В. Купчикова); 4 – ступенчатая (В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел); 5 – ступенчатая многосекционная квадратного сечения (Р. А. Мангушев); 6 – пирамидальная (В.Н. Голубков, В.К. Дмоховский); 7 – коническая набивная (А. А. Землянский, О.С. Вознесенский); 8 – клиновидная набивная (А.А. Землянский, О.С. Вознесенский); 9 – пирамидально – цилиндрическая (А.И. Сапожников, Н.В. Купчикова); 10 – ромбовидная (Б.И. Далматов); 11 – бипирамидальная (А.И. Моргун); 12, 13 – короткая пирамидальная со стаканом; 14 – короткая пирамидальная с ростверком; 15 – короткая пирамидальная с заглубленной пирамидой; 16, 17 – короткая пирамидальная свая-колонна; (В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел)

Готовые и набивные железобетонные и бетонные сваи с уширениями сверху и наклонными боковыми сваями в практике отечественного и зарубежного строительства по результатам исследований представлены в следующем виде:

- свая с уширением на верхнем конце (Т.М. Штоль В.И. Теличенко, В.И. Фёклин);
  - призматическая свая с забивным оголовком (Б.И. Далматов, Ю.Н. Платонов);
  - со сборными клиньями (А.И. Сапожников, Н.В. Купчикова);
  - ступенчатая (В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел);
  - ступенчатая многосекционная квадратного сечения (Р.А. Мангушев);
  - пирамидальная (В.Н. Голубков, В.К. Дмоховский);
  - коническая набивная (А.А. Землянский, О.С. Вознесенский);
  - клиновидная набивная (А.А. Землянский, О.С. Вознесенский);
  - пирамидально – цилиндрическая (А.И. Сапожников, Н.В. Купчикова);
  - ромбовидная (Б.И. Далматов);
  - бипирамидальная (А.И. Моргун);
  - короткие пирамидальные со стаканом, с ростверком, с заглубленной пирамидой;
- короткая пирамидальная свая-колонна (В.И. Хазин, А.С. Головачев, А.А. Орел) (см. рис. 3).

Результаты натурных экспериментальных исследований [14, 15, 20, 21] позволяют построить график зависимости осадки от вертикального нагружения для пяти видов свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями: пирамидальной, бипирамидальной, сваи со сборными клиньями, ступенчатой готовой, короткой пирамидальной (рис. 4).

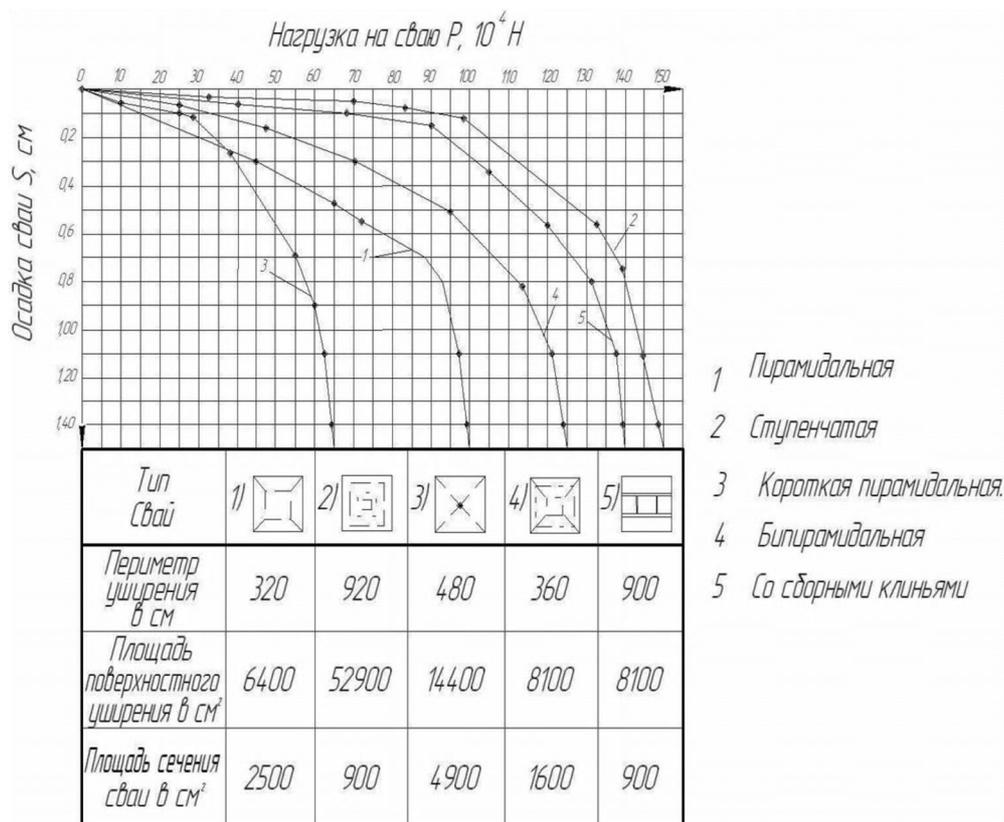


Рисунок 4 – График зависимости осадки от вертикального нагружения для пяти видов свай с уширениями сверху и наклонными боковыми гранями: пирамидальной (1); ступенчатой (2); короткой пирамидальной (3); бипирамидальной (4); сваи со сборными клиньями (5)

Результаты натурных внедрений по данным графика на рисунке 4 показали, что наиболее эффективной является ступенчатая свая цельного сечения (рис. 3, 4), её несущая способность на 15-20% больше пирамидальной (рис. 3, 6) и бипирамидальной (рис. 3, 11) на 20-25% – призматической. Сравнительный анализ испытаний ступенчатой и обычной свай с одинаковыми раз-

мерами головы и острия и одинаковыми углами, погруженных в намытый песок средней плотности, показали, что несущая способность ступенчатой сваи на 20-25% больше, причем бетона на ее изготовление расходуется на 15-20% меньше.

Несущая способность *ступенчатой сваи* увеличивается в результате образования вокруг нее грунтовой рубашки, благодаря чему при работе сваи под нагрузкой происходит заклинивание и трение грунта о грунт. Однако ввиду отсутствия точных и надёжных методов расчёта напряжённо-деформированного состояния ступенчатые сваи не нашли своего применения в строительстве [14, 15].

*Ступенчатые многосекционные сваи* в отечественном и зарубежном строительстве представлены в виде квадратного поперечного сечения (НИИПРОМСТРОЙ) (рис. 3, 5) и с круглым поперечным сечением (сваи «Мега») для удобства перекачивания в стеснённых условиях. Сваи «Мега» изготавливают из сборных железобетонных элементов длиной 60...120 см с размером поперечного сечения 20×20, 25×25 и 30×30 см. Для голов свай применяют элементы большего размера – 120×60×25 см. Элементы располагаются друг над другом, соприкасаясь торцовыми поверхностями. Все элементы свай армируют продольной рабочей арматурой с поперечными хомутами. Для восприятия горизонтальных сил между элементами обычно закладывают вертикальные штыри диаметром 37,5...50,0 мм, которые препятствуют смещению соединяемых элементов и допускают их незначительный поворот. Ступенчатые сваи в виде квадратного поперечного сечения соединяются на болтах или с помощью штырей. Болтовой стык способен воспринимать изгибающие моменты, перерезывающие и выдергивающие усилия, а штыревой стык – только вертикальное сжимающее усилие. Сборные элементы располагаются друг над другом, соприкасаясь торцовыми поверхностями. Значительную технико-экономическую эффективность такие конструкции достигли при реконструкции и восстановлении аварийных фундаментов.

*Конструкция сваи с уширением на верхнем конце* (рис. 3, 1) доставляется на строительную площадку с завода в готовом виде и по характеру работы в грунтовой массе по несущей способности и надёжности работы в слабых грунтах имеет однообразную структуру, сходную с призматической свайей с забивным сборным оголовком (рис. 3, 2).

*Свая с забивным сборным оголовком* (рис. 3, 2) при погружении дополнительно уплотняют грунт вокруг верхней части сваи и сами передают часть нагрузки на основание. Усиление свай забивными оголовками позволяет увеличивать их несущую способность в 1,5...2 раза. Забивные оголовки целесообразны, когда по длине свай нет слоёв слабых, сильносжимаемых грунтов. На эти оголовки иногда без ростверка устанавливают панели стен зданий [3]. Наибольшее распространение такие конструкции получили в жилищном строительстве при возведении пяти и девяти этажных домов. По результатам полевых испытаний [24] установлено, что несущая способность таких свай в 3-3,5 раза больше, чем несущая способность обычной призматической равной длины. Стоит отметить, что несущая способность поверхностного уширения и забивного оголовка составляет 65-70% от общего сопротивления комплексной конструкции «свая+поверхностное уширение».

*Сваи с поверхностными уширениями* (рис. 3, 3) в виде сборных клиньев приводят к увеличению плотности грунта на 20-30%, и позволяют снизить осадку фундамента в 3-4 раза, по сравнению с призматической, что позволяет увеличить несущую способность фундамента. Так, например, анализ деформации грунта, характера его уплотнения и изменения плотности в основании сваи с поверхностными уширениями в виде сборных клиньев при вертикальном нагружении автором статьи [19, 21, 22] был выполнен экспериментально в лабораторных условиях при помощи фиксаторов – окрашенного грунта в лотке со стеклянными боковыми гвнями с последующим фотографированием видимых изменений (уплотнения изолиний), что позволило наиболее полно проанализировать характеристики напряжённо-деформированного состояния системы «грунт-свая-уширение» (рис. 5).

*Свая со сборными клиньями* (рис. 5) загрузалась последовательно вертикальной нагрузкой, отобранные образцы грунта (песок и суглинок) вдоль плоскости вертикальных и горизонтальных изолиний показали значения плотностей, отличные от испытаний сваи без клиньев.

Плотность грунта вдоль клина при его вдавливании увеличилась за счёт сокращения расстояний между порами грунта. Так, для песка плотность вдоль поверхности клина по его высоте увеличилась по сравнению с испытанием сваи без клина в 1,3 раза, у суглинка – в 1,4 раза.

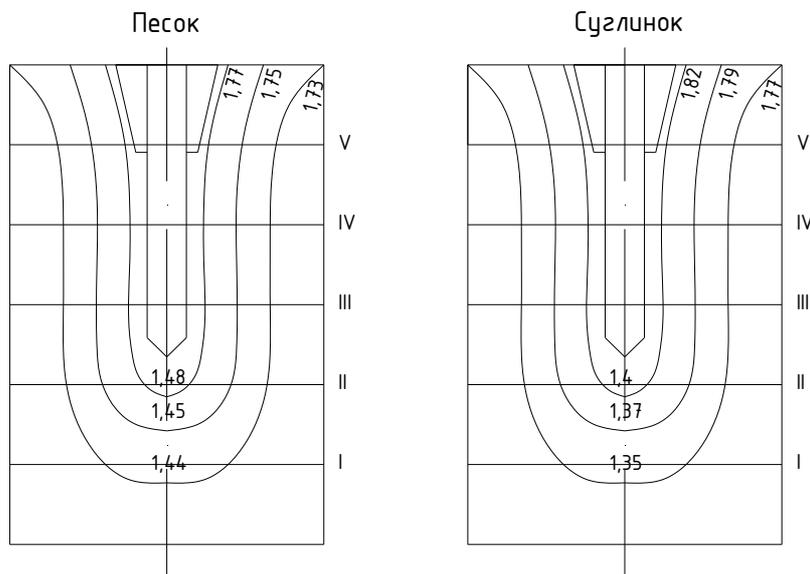


Рисунок 5 – Изолинии плотности грунта в лабораторном лотке при вертикальном нагружении сваи со сборными клиньями

Пирамидальные сваи (рис. 3, б) длиной от 4-х до 9-ти м, обладают значительной несущей способностью и их применение наиболее целесообразно, если напластование грунтов по глубине сравнительно неоднородно, особенно, когда верхние слои грунта обладают лучшими строительными свойствами, чем нижние. Для пирамидальных свай с малыми углами наклона боковых граней ( $1-4^\circ$ ) – однородные по глубине грунты; в случаях, когда сваи прорезают слои плотных грунтов, а их нижний конец заглубляется в более слабые грунты. Для пирамидальных свай с большими углами наклона боковых граней ( $4-14^\circ$ ) – песчаные, маловлажные тугопластичные глинистые грунты, лессовые грунты I типа по просадочности мощностью до 5 м при глубине промерзания до 1 м. Допускается применение в районах с расчётной сейсмичностью до 6 баллов включительно – пирамидальные сваи с малыми углами сбег; с расчётной сейсмичностью до 7 баллов включительно, а при наличии просадочных грунтов – до 6 баллов включительно – пирамидальные сваи с большими углами сбег. При любом уклоне боковых граней, целесообразно применять только в качестве висячих свай [23].

Конические сваи для структурно-неустойчивых грунтов (рис. 3, 7) представляют собой конструкцию, состоящую из центрального стержня (ядра жесткости) – металлической бесшовной трубы и внешней (наружной) конической оболочки. В полости между центральным стержнем и оболочкой находится твердый материал [18]. Коническая свая позволяет в значительной мере уплотнить околосвайный грунт, что повышает её несущую способность. Использование в качестве центрального стержня бесшовной трубы позволяет не только повысить жесткость сваи, но и изготовить её полой сэкономив на материале. Удельная несущая способность набивных конических свай на 25% выше типовой буронабивной сваи. В случае, когда свая прорезает несколько слоев с различными механическими характеристиками грунта, форма её может несколько отличаться от идеальной (конической), т.е. слой менее плотного грунта будет уплотняться больше, а значит, появится уширение, а более плотный грунт, наоборот, в результате чего будет получено некоторое сужение.

Клиновидные набивные сваи имеют форму клина и состоят из двух железобетонных элементов, расположенных под углом к вертикали (рис. 3, 8). Центральная часть клина (между элементами) заполнена литым бетоном и содержит в себе заполненную материалом деформируемую оболочку. Железобетонные блоки, повернутые пазами друг к другу, предварительно по всей длине

стягивают хомутами. Собранный каркас опускают в грунт в предварительно пробуренную скважину. По мере опускания каркаса с него снимают стяжные хомуты и после установки каркаса в проектное положение в оболочку под давлением подают мелкозернистый бетон, в результате чего деформируясь, оболочка раздвигает блоки, которые занимают проектное положение [18].

*Ромбовидная свая* (рис. 3, 10) дополнительно уплотняет грунт верхними наклонными гранями и передаёт на него не только касательные, но и нормальные усилия, благодаря чему такие конструкции дают возможность повысить несущую способность фундамента в пучинистых грунтах и воспринимать более высокие нагрузки, чем на призматические, имеющими одинаковые с ромбовидными длину и объём.

Удельное сопротивление *бипирамидальных свай* (рис. 3, 11) по сравнению с пирамидальными в 2,0...2,5 раза выше и в 4-5 раз выше призматических, расход материала также значительно сокращается. При этом увеличиваются затраты на оснастку, в которой изготавливаются сваи. Однако отсутствие в настоящее время инженерных методов расчёта бипирамидальных свай, не способствует их широкому внедрению в практику строительства.

*Короткие пирамидальные сваи* в зависимости от назначения, типа здания или сооружения и условий работы под нагрузкой могут применяться в различном конструктивном исполнении: с верхним призматическим участком или без него, сплошными или полыми, с квадратным или круглым отверстием (рис. 3, 12-17). Наиболее целесообразной [4] и простейшей является правильная четырёхгранная усечённая пирамида, характерная для свай зданий различного назначения, возводимых на спланированных площадках. Относительно небольшая длина пирамидальных свай (1-4 м) и массивность верхней их части позволяют значительно снизить расход металла на армирование свай, работающих на вертикальную нагрузку.

**Выводы.**

1) Таким образом, классификацию конструкции свай с уширением сверху (поверхностным уширением) можно представить следующим образом (рис. 6):

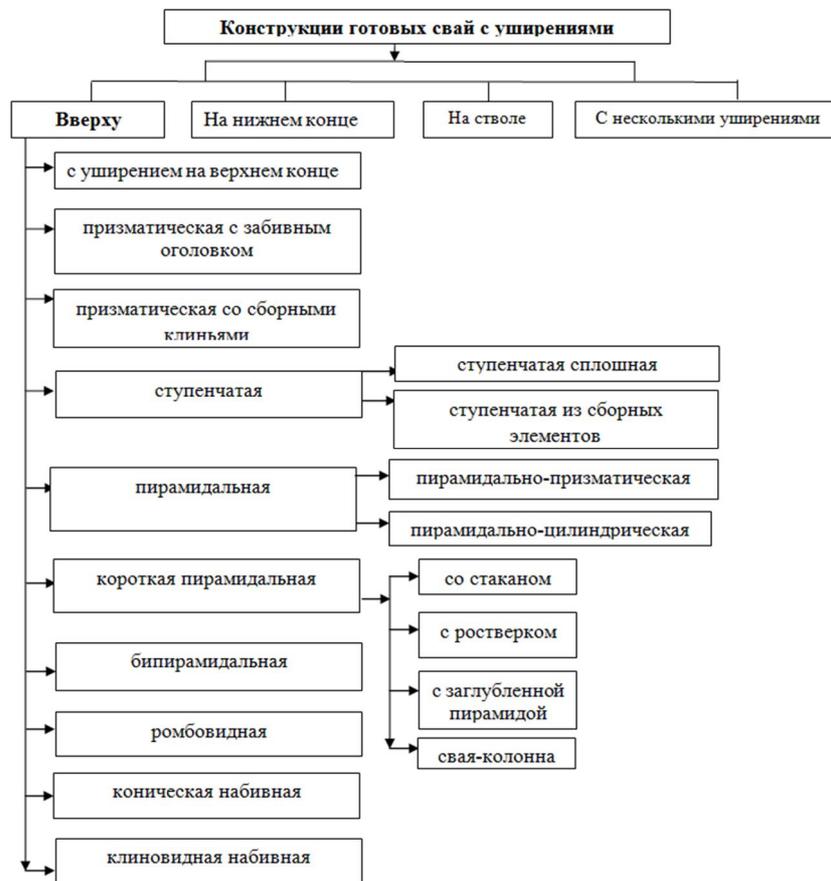


Рисунок 6 – Предлагаемая классификация свай с уширениями

2) С практической точки зрения сваи с уширениями сверху показывают высокие прочностные характеристики в качестве фундаментов зданий и сооружений, воспринимающих горизонтальные, динамические, сейсмические нагрузки, а также нагрузки, возникающие от действия изгибающего момента.

3) Полевые испытания свайных фундаментов с поверхностными уширениями и наклонными боковыми сваями показывают, что их несущая способность в значительной степени зависит от характеристик зоны уплотнения окологрунтового пространства в верхней части и в 2-5 раз выше, чем у обычных призматических свай.

4) Опыт применения готовых и набивных свай с поверхностными уширениями и наклонными боковыми гранями позволил выявить, что несущая способность таких конструкций возрастает не только за счет увеличения площади у оголовка, но и за счет изменения условий работы грунта по боковой поверхности «расширяющейся» сваи сверху и силы трения, которая реализуется в большей мере.

5) Интенсивность внедрения свайных фундаментов с поверхностными уширениями затрудняется ввиду отсутствия в настоящее время надёжных, проверенных инженерных методов их расчёта, что не способствует их широкому применению в практике строительства.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85 [Текст].
2. Луга, А.А. Свайные работы [Текст]: учеб. пособие / А.А. Луга. – М.: Трансжелдориздат, 1947. – С. 42-51.
3. Далматов, Б.И. Проектирование фундаментов зданий и подземных сооружений [Текст]: учеб. пособие / Б.И. Далматов, В.Н. Бронин, А.В. Голли и др. – 2-е изд. – Москва: АСВ; Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2001. – 440 с.
4. Мангушев, Р.А. Инженерно-геологические и инженерно-геотехнические изыскания для строительства [Текст]: учебное пособие / М.С. Захаров, Р.А. Мангушев. – Москва: АСВ, 2014. – 176 с.
5. Мангушев, Р.А. Современные свайные технологии [Текст]: учебное пособие / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. – Москва: АСВ; Санкт-Петербург: СПбГАСУ, 2007. – 160 с.
6. Коновалов, П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий [Текст]: учебник / П.А. Коновалов. – 4-е изд. – Москва: ВНИИГПИ, 2000. – 320 с.
7. Костерин, Э.В. Основания и фундаменты [Текст]: учебник / Э.В. Костерин. – 3-е изд. – М.: Высшая школа, 1990. – 431 с.
8. Силкин, А.М. Основания и фундаменты [Текст]: учебник / А.М. Силкин, Н.Н. Фролов. – 2-е изд. – М.: ВО «Агропромиздат», 1987. – 285 с.
9. Vesic, A.S. Expansion of cavities in infinite soil mass. Journal of the soil mechanics and foundations division: Proceedings of the American Society of civil engineers. Vol. 98, 1972. – p. 265-290.
10. Hirayama, H. A. Unified base bearing capacity formula for piles // Soils and Foundations. vol. 26. – 1988. – №3. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. – pp. 91-102.
11. Broid, I.I. For calculation of soil erosion by liquid jet in air stream process towards Jet Grouting Method // Proceedings of International Conference on Anchoring & Grouting towards the New Century, October 6-9 1999, Guangzhou, China.
12. Крутов, В.И. Предложения по классификации оснований и фундаментов [Текст] / В.И. Крутов // Основания и фундаменты, механика грунтов. – М., 2013. – №1. – С. 23-27.
13. Штоль, Т.М. Технология возведения подземной части зданий и сооружений [Текст]: учеб. пособие для вузов: Спец.: «Пром. и гражд. стр-во» / Т.М. Штоль, В.И. Теличенко, В.И. Феклин. – М.: Стройиздат, 1990. – 288 с.
14. Хазин, В.И. Опыт применения коротких пирамидальных свай [Текст] / Т.М. Хазин. – М.: Оргтрансстрой, 1970. – 12 с.
15. Головачёв, А.С. Вибродинамические испытания призматических и пирамидальных свай в различных грунтовых условиях [Текст] / А.С. Головачёв, В.И. Хазин – труды ЦНИИСа, вып. 85. – М.: Транспорт, 1972. – 106 с.
16. Смиренский, Г.М. Свайные фундаменты гражданских зданий [Текст] / Г.М. Смиренский, Л.А. Нудельман, А.Е. Радугин. – М.: Стройиздат, 1970. – 141 с.
17. Ермишкин, П.М. Устройство буронабивных свай [Текст]: учебник / П.М. Ермишкин. – М.: Стройиздат, 1982. – 160 с.
18. Землянский, А.А. Формообразование в грунте конической сваи [Текст] / А.А. Землянский, О.С. Вертынский // III науч.-практич. конф. Пенза: ПДЗ, 2004.
19. Купчикова, Н.В. Исследование напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в структурно-неустойчивых основаниях: диссертация ... кандидата технических наук: 05.23.02 / Купчикова Наталья Викторовна; [Место защиты: Моск. гос. ун-т путей сообщ. (МИИТ) МПС РФ]. – М., 2010. – 200 с.: ил. РГБ ОД, 61 11-5/32.

20. Моргун, А.И. Полевые исследования деформаций основания бипирамидальных свай [Текст] / А.И. Моргун // Сб. Института строительства и архитектуры Госстроя БССР «Свайные фундаменты». – Минск, 1975.
21. Купчикова, Н.В. Технологическая эффективность применения свай с поверхностными уширениями в зависимости от изменения геометрии сборных клиньев в просадочных грунтах [Текст] / Н.В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство – 2014. – №6. – С. 53-56.
22. Купчикова, Н.В. Методика расчёта свайных фундаментов с уширениями на сейсмические воздействия, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций [Текст] / Н.В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство – 2012. – №8. – С. 24-31.
23. Голубков, В.Н. Несущая способность свайных оснований [Текст] / В.Н. Голубков. – М.: Машстройиздат, 1950. – 143 с.
24. Платонов, Ю.Н. Несущая способность свай, усиленных забивными оголовками [Текст] / Ю.Н. Платонов // Несущая способность свай в слабых грунтах: сб. науч. труд. – Ленинград: ЛИИЖТ, 1966.

**Купчикова Наталья Викторовна**

Астраханский инженерно-строительный институт

Кандидат технических наук, доцент, заведующая кафедрой «Технология, организация строительства и экспертиза, управление недвижимостью»

Тел.: +7 (8512) 25-00-91

E-mail: kupchikova79@mail.ru

N. KUPCHIKOVA

**PROPOSALS TO SUPPLEMENT THE CLASSIFICATION  
OF STRUCTURES AND FINISHED WITH SURFACE PILES  
BROADENING AND INCLINED SIDE PILES**

*The study on the implementation of the construction industry in the pile foundation with surface broadening and piles "expanding" to the top, determined their overall performance in structurally unstable soils. A comparative analysis of the results of field experiments and numerical results. Plotted rainfall for the five types of piles with surface broadening of the vertical load. Offered to debate classification structures and piles ready to surface broadening, including piles with inclined side faces used in construction for soft ground.*

**Keywords:** *pile foundation with surface broadening experiment, the stress-strain state, structural and technological efficiency.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. SP 24.13330.2011. Svajnye fundamenty. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 2.02.03-85 [Tekst].
2. Luga, A.A. Svajnye raboty [Tekst]: ucheb. posobie / A.A. Luga. – M.: Transzheldorizdat, 1947. – S. 42-51.
3. Dalmatov, B.I. Proektirovanie fundamentov zdaniy i podzemnyh sooruzhenij [Tekst]: ucheb. posobie / B.I. Dolmatov, V.N. Bronin, A.V. Golli i dr. – 2-e izd. – Moskva: ASV; Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2001. – 440 s.
4. Mangushev, R.A. Inzhenerno-geologicheskie i inzhenerno-geotekhnicheskie izyskanija dlja stroitel'stva [Tekst]: uchebnoe posobie / M.S. Zaharov, R.A. Mangushev. – Moskva: ACB, 2014. – 176 s.
5. Mangushev, R.A. Sovremennye svajnye tehnologii [Tekst]: uchebnoe posobie / R.A. Mangushev, A.V. Ershov, A.I. Osokin. – Moskva: ACB; Sankt-Peterburg: SPbGASU, 2007. – 160 s.
6. Konovalov, P.A. Osnovaniya i fundamenty rekonstruirovannykh zdaniy [Tekst]: uchebnyk / P.A. Konovalov. – 4-e izd. – Moskva: VNIINTPI, 2000. – 320 s.
7. Kosterin, Je.V. Osnovaniya i fundamenty [Tekst]: uchebnyk / Je.V. Kosterin. – 3-e izd. – M.: Vysshaja shkola, 1990. – 431 s.
8. Silkin, A.M. Osnovaniya i fundamenty [Tekst]: uchebnyk / A.M. Silkin, N.N. Frolov. – 2-e izd. – M.: VO «Agropromizdat», 1987. – 285 s.
9. Vesic, A.S. Expansion of cavities in infinite soil mass. Journal of the soil mechanics and foundations division: Proceedings of the American Society of civil engineers. Vol. 98, 1972. – p. 265-290.
10. Hirayama, H. A. Unified base bearing capacity formula for piles // Soils and Foundations. vol. 26. – 1988. – №3. Japanese Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering. – pp. 91-102.
11. Broid, I.I. For calculation of soil erosion by liquid jet in air stream process towards Jet Grouting Method // Proceedings of International Conference on Anchoring & Grouting towards the New Century, October 6-9 1999, Guangzhou, China.

12. Krutov, V.I. Predlozhenija po klassifikacii osnovanij i fundamentov [Tekst] / V.I. Krutov // Osnovaniya i fundamenty, mehanika gruntov. – M., 2013. – №1. – S. 23-27.
13. Shtol', T.M. Tehnologija vozvedenija podzemnoj chasti zdaniy i sooruzhenij [Tekst]: ucheb. posobie dlja vuzov: Spec.: «Prom. i grazhd. str-vo» / T.M. Shtol', V.I. Telichenko, V.I. Feklin. – M.: Strojizdat, 1990. – 288 s.
14. Hazin, V.I. Opyt primeneniya korotkih piramidal'nyh svaj [Tekst] / T.M. Hazin. – M.: Orgtransstroj, 1970. – 12 s.
15. Golovachjov, A.S. Vibrodinamicheskie ispytaniya prizmaticheskikh i piramidal'nyh svaj v razlichnyh gruntovyh uslovijah [Tekst] / A.S. Golovachjov, V.I. Hazin – trudy CNIISa, vyp. 85. – M.: Transport, 1972. – 106 s.
16. Smirenskij, G.M. Svajnye fundamenty grazhdanskih zdaniy [Tekst] / G.M. Smirenskij, L.A. Nudel'man, A.E. Radugin. – M.: Strojizdat, 1970. – 141 s.
17. Ermishkin, P.M. Ustrojstvo buronabivnyh svaj [Tekst]: uchebnik / P.M. Ermishkin. – M.: Strojizdat, 1982. – 160 s.
18. Zemljanskij, A.A. Formoobrazovanie v grunte konicheskoj svai [Tekst] / A.A. Zemljanskij, O.S. Vertynskij // III nauch.-praktich. konf. Penza: PDZ, 2004.
19. Kupchikova, N.V. Issledovanie naprjazhjonno-deformirovannogo sostojaniya svajnyh fundamentov s koncevymi i poverhnostnymi ushirenijami v strukturno-neustojchivyh osnovanijah: dissertacija ... kandidata tehniceskikh nauk: 05.23.02 / Kupchikova Natal'ja Viktorovna; [Mesto zashhity: Mosk. gos. un-t putej soobshh. (MIIT) MPS RF]. – M., 2010. – 200 s.: il. RGB OD, 61 11-5/32.
20. Morgun, A.I. Polevye issledovanija deformacij osnovaniya bipiramidal'nyh svaj [Tekst] / A.I. Morgun // Sb. Instituta stroitel'stva i arhitektury Gosstroja BSSR «Svajnye fundamenty». – Minsk, 1975.
21. Kupchikova, N.V. Tehnologicheskaja jeffektivnost' primeneniya svaj s poverhnostnymi ushirenijami v zavisimosti ot izmeneniya geometrii sbornyh klin'ev v prosadochnyh gruntah [Tekst] / N.V. Kupchikova // Pro-myshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – 2014. – №6. – S. 53-56.
22. Kupchikova, N.V. Metodika raschjota svajnyh fundamentov s ushirenijami na sejsmicheskie vozdejstvija, osnovannaja na svoystvah izobrazhenija Fur'e finitnyh funkcij [Tekst] / N.V. Kupchikova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo – 2012. – №8. – S. 24-31.
23. Golubkov, V.N. Nesushhaja sposobnost' svajnyh osnovanij [Tekst] / V.N. Golubkov. – M.: Mashstrojizdat, 1950. – 143 s.
24. Platonov, Ju.N. Nesushhaja sposobnost' svaj, usilennyh zabivnymi ogolovkami [Tekst] / Ju.N. Platonov // Nesushhaja sposobnost' svaj v slabyh gruntah: sb. nauch. trud. – Leningrad: LIIZhT, 1966.

**N. Kupchikova**

Astrakhan institute of civil engineering

Candidate of technical sciences, associate professor, head of department «Technology and organization of construction and governance expert, property management»

Ph.: +7 (8512) 25-00-91

E-mail: kupchikova79@mail.ru

КОЗЛОВ В.В., ТИШНЕР-ЕГОРОВА Т.-Э.А.

## ПРИБЛИЖЕННОЕ РЕШЕНИЕ УРАВНЕНИЯ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО И ТОЧЕЧНОГО ТЕПЛОПРОВОДНОГО ВКЛЮЧЕНИЯ

*В настоящее время, в строительной теплофизике остро стоит вопрос систематизации узлов по их теплотехническим свойствам. Для его решения необходимо глубокое понимание процесса теплопереноса через неоднородные участки конструкции и его детализации. В настоящей статье получены аналитические решения уравнения теплопроводности для модельного узла с линейной и точечной неоднородностью. Для обоих случаев предложен удобный вид приближенного решения. Показана связь коэффициентов в решении для линейного и точечного случая. Проведено сравнение приближенных аналитических решений с результатами точного численного расчета. Полученные решения позволяют точнее понять влияние составляющих конструкции на удельные потери теплоты через узел. Что поможет в дальнейшем разделить влияние конструкции и самого включения на свойства узла.*

**Ключевые слова:** теплоперенос, температурное поле, теплотехническая неоднородность, удельные потери теплоты.

### Введение.

Учет теплотехнических неоднородностей при проектировании ограждающих конструкций является важной составляющей мероприятий по энергосбережению и повышению энергоэффективности строительства. На протяжении многих десятилетий этот учет совершенствуется и распространяется на все более широкий круг специалистов. Повышается распространенность численного моделирования теплопереноса. По данной тематике написано большое число статей (например, [1, 2, 3, 4]).

В идеале при проектировании любого здания должны учитываться все неоднородности конструкций. Однако ряд существенных сложностей расчета до сих пор не позволяет добиться такого результата. Принятые в последнее время изменения методики расчета приведенного сопротивления теплопередаче позволяют существенно упростить расчет для конечного пользователя за счет использования заранее рассчитанных удельных потерь теплоты для каждой неоднородности. Однако и на этом пути есть ряд препятствий, не позволяющих полностью добиться поставленной цели. В первую очередь это многообразие узлов и конструкций.

Остро встает вопрос систематизации узлов, которая позволила бы снизить количество требуемых расчетов. Для этого необходимо найти внутренние сходства между внешне различными узлами. Первые шаги в этом направлении сделаны в статье [5] и статье «Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей» настоящего сборника. В них для линейного и точечного теплопроводного включения на примерах показано, что они могут изучаться независимо, в уединении от других узлов. Эта возможность существенно упрощает рассмотрение сложных конструкций, и позволяет широко применять накапливаемые данные по узлам.

Более того, как показано в статье [5]:

«Распределение температуры по поверхности ограждающей конструкции подчинено определенным законам. Благодаря этому, оно позволяет определить дополнительный поток теплоты через узел. Замена одной неоднородности на другую неспособна изменить эти законы, поэтому для любой локальной неоднородности распределения температуры по поверхности конструкции должны быть подобны. В общем виде, для линейных неоднородностей закон распределения температуры описывается следующей формулой:

$$\Delta\tau = \Psi \cdot f(x), \quad (1)$$

где  $\Delta\tau$  – перепад между температурами внутренней поверхности однородной и неоднородной конструкции, °С;  $x$  – расстояние от центра неоднородности;  $f$  – некая фиксированная функция, не зависящая от  $\Psi$ .

В формуле (1) все влияние неоднородности сосредоточено в  $\Psi$ , а влияние конструкции присутствует как в  $\Psi$ , так и в  $f$ , причем это влияние взаимоувязано и может быть определено одним параметром». Аналогичный вывод с поправкой на форму можно сделать и для точечной неоднородности.

В данной статье будут найдены приближенные аналитические решения уравнения теплопроводности для линейного и точечного теплопроводных включений. Конструкции и сами включения аналогичны рассмотренным в выше указанных статьях.

### Линейное теплопроводное включение.

Нахождение пусть и приближенного, но аналитического решения позволяет существенно продвинуть понимание свойств системы. В частности, оно позволит проверить выдвинутый выше тезис о закономерности распределения температуры и формулу (1). Увидеть структуру этой закономерности. Сравнить линейное и точечное теплопроводное включение. Кроме того, такие решения имеют и потенциальное практическое значение при применении их в реальных расчетах.

Далее везде будет рассматриваться трехслойная конструкция с эффективным утеплителем аналогичная рассмотренным в статье [5].

Для линейной неоднородности малого по сравнению с размерами узла сечения, функцию  $f$  в формуле (1) можно уточнить.

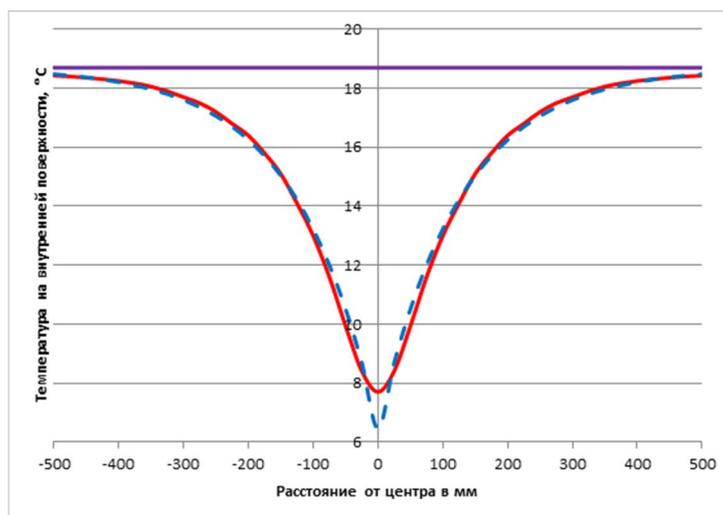
Приближенно она имеет вид:

$$\Delta\tau = Ae^{k|x|}, \quad (2)$$

где  $A$  и  $k$  – константы, зависящие от выбора узла.

Эта формула будет давать точные результаты за пределами теплопроводного включения и искаженные в месте расположения включения, причем точность будет тем выше, чем ближе к идеальной линейной неоднородности. В данном случае «идеальная» означает – «имеющая нулевой поперечный размер».

Для иллюстрации данного утверждения на рисунке 1 приведен график распределения температуры по внутренней поверхности конструкции (сплошная красная линия) для уединенной линейной неоднородности из примера в статье [5]. На том же графике приведена аппроксимация точек по формуле (2) (пунктирная синяя линия). Сплошной фиолетовой линией показано распределение температуры для однородного узла.



*Рисунок 1 – Распределение температуры по внутренней поверхности однородной и неоднородной конструкции для линейного одиночного теплопроводного включения. Результат прямого расчета и аппроксимация по формуле (2)*

Из графика видно хорошее совпадение значений везде, кроме места расположения теплопроводного включения (около 0).

Экспоненциальный вид  $f$  следует из частных примеров, как предельный случай получаемых функций. Этот же вид функции можно получить, решив модельную задачу, представляющую собой случай идеального линейного теплопроводного включения в трехслойной конструкции с абсолютно тонкими облицовочными слоями.

Рассмотрим такую модельную конструкцию. Ее основные характеристики: термическое сопротивление слоя утеплителя  $R_{ут}$ , коэффициенты теплообмена с внутренней и наружной стороны  $\alpha_в$  и  $\alpha_н$ , и характеристика проводимости облицовочного слоя в плоскости стены. В реальной конструкции, т.е. при наличии конечной толщины облицовочного слоя, аналогом такой характеристики будет произведение  $\lambda_{об} \cdot d_{об}$ , чтобы не вводить лишних обозначений, далее так и будем обозначать эту характеристику,  $\lambda d$ , понимая, что для идеальной конструкции это не произведение, а обозначение. Ее размерность [ $^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$ ].

Уравнение теплопроводности, приложенное к такой конструкции, упрощается. В первом приближении для нахождения решения требуется решить только систему двух одномерных дифференциальных уравнений. В общем случае уравнения для внутреннего и наружного слоев могут отличаться лишь коэффициентом теплообмена и характеристикой облицовочного слоя  $\lambda d$ .

Система уравнений:

$$\begin{cases} \lambda d_1 \tau_1'' - \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{ут}} + \alpha_в (t_в - \tau_1) = 0; \\ \lambda d_2 \tau_2'' + \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{ут}} + \alpha_н (t_н - \tau_2) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

где  $\tau_1$  и  $\tau_2$  – распределения температуры по внутренней и наружной облицовке соответственно.

Так как рассматриваемая система полностью симметрична относительно плоскости перпендикулярной плоскости стены и расположенной по линии прохождения теплопроводного включения, далее будет исследоваться только одна половина. Место расположения теплопроводного включения принимается за начало отсчета.

Граничными условиями для данной задачи будут:

$$\begin{cases} \lambda d_1 \tau_1' = 0,5q \\ \lambda d_2 \tau_2' = -0,5q \end{cases} \quad \text{при } x = 0, \quad (4)$$

где  $q$  – это линейный дополнительный поток теплоты через теплопроводное включение, Вт/м;

$$\begin{cases} \tau_1 = t_в - \frac{1}{\alpha_в \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \frac{t_в - t_н}{\alpha_в \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \\ \tau_2 = t_н + \frac{1}{\alpha_н \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \frac{t_в - t_н}{\alpha_н \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \end{cases} \quad \text{при } x \rightarrow +\infty. \quad (5)$$

Последние условие означает, что вдали от включения распределение температуры стремится к распределению однородной конструкции.

Решение системы (3) будем искать в следующем виде:

$$\begin{cases} \tau_1 = t_в - \frac{1}{\alpha_в \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \frac{t_в - t_н}{\alpha_в \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} + A_{11} e^{-k_1 x} + A_{12} e^{-k_2 x}; \\ \tau_2 = t_н + \frac{1}{\alpha_н \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} \frac{t_в - t_н}{\alpha_н \frac{1}{\alpha_в} + R_{ут} + \frac{1}{\alpha_н}} + A_{21} e^{-k_1 x} + A_{22} e^{-k_2 x}. \end{cases} \quad (6)$$

Данный вид решения автоматически удовлетворяет граничным условиям (5).

После подстановки решения в систему (3), сокращения и приравнивания 0 множителей при экспонентах с одинаковой степенью, получается четыре связанных уравнения на коэффициенты:

$$\begin{cases} \lambda d_1 (k_1)^2 A_{11} - \frac{A_{11} - A_{21}}{R_{ут}} - \alpha_в A_{11} = 0; \\ \lambda d_1 (k_2)^2 A_{12} - \frac{A_{12} - A_{22}}{R_{ут}} - \alpha_в A_{12} = 0; \\ \lambda d_2 (k_1)^2 A_{21} + \frac{A_{11} - A_{21}}{R_{ут}} - \alpha_н A_{21} = 0; \\ \lambda d_2 (k_2)^2 A_{22} + \frac{A_{12} - A_{22}}{R_{ут}} - \alpha_н A_{22} = 0. \end{cases} \quad (7)$$

Эта система уравнений разбивается на две подсистемы уравнения 1, 3 и уравнения 2, 4. Подсистемы идентичные, поэтому достаточно решить лишь одну из них, например первую. Она сводится к уравнению:

$$A_{21} \left( \lambda d_2 (k_1)^2 - \frac{1}{R_{yt}} - \alpha_n \right) \left( \lambda d_1 (k_1)^2 - \frac{1}{R_{yt}} - \alpha_b \right) - \frac{A_{21}}{(R_{yt})^2} = 0. \quad (8)$$

Уравнение (8) позволяет найти  $k_1$ . Решение этого уравнения слишком громоздко и коэффициент  $k_1$  получается неудобным для дальнейшей работы. Но можно заметить,  $1/R_{yt}$  для всех рассматриваемых на практике случаев значительно (10-100 раз) меньше коэффициентов теплообмена. Решаемая задача модельная и уже содержит упрощения, поэтому далее используется приближенное решение:

$$\begin{cases} (k_1)^2 = \frac{\alpha_n + \frac{1}{R_{yt}}}{\lambda d_2}; \\ (k_2)^2 = \frac{\alpha_b + \frac{1}{R_{yt}}}{\lambda d_1}. \end{cases} \quad (9)$$

А для большинства практически важных случаев достаточно будет даже еще более грубого приближения:

$$\begin{cases} (k_1)^2 = \frac{\alpha_n}{\lambda d_2}; \\ (k_2)^2 = \frac{\alpha_b}{\lambda d_1}. \end{cases} \quad (10)$$

Возвращаясь к системе (7) можно найти связь между коэффициентами  $A$ :

$$\begin{cases} A_{11} = \frac{-A_{21}}{R_{yt} \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \alpha_n - \alpha_b \right) + \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} - 1 \right)}; \\ A_{12} = A_{22} \frac{\lambda d_2}{\lambda d_1} \left[ R_{yt} \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \alpha_n - \alpha_b \right) + \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} - 1 \right) \right]. \end{cases} \quad (11)$$

Для нахождения второго уравнения в системе пришлось уточнить выражение для  $k_2$ , но так как это уточнение дальше нигде не используется, оно здесь не приводится. Можно заметить, что связь между коэффициентами  $A$  имеет симметричный вид, кратко его можно было бы описать так:

$$\begin{cases} \tau_1 = A_{11} e^{-k_1 x} + A_{12} e^{-k_2 x} + B_1; \\ \tau_2 = \zeta A_{11} e^{-k_1 x} - \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta} A_{12} e^{-k_2 x} + B_2; \end{cases} \quad (12)$$

$$\zeta = -R_{yt} \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \alpha_n - \alpha_b \right) - \left( \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} - 1 \right). \quad (13)$$

Коэффициенты  $\zeta$ ,  $k_{1,2}$ ,  $B_{1,2}$  уже найдены. Коэффициенты  $A_{11, 12}$ , находятся из граничных условий (4):

$$\begin{cases} -\lambda d_1 (A_{11} k_1 + A_{12} k_2) = 0,5q; \\ -\lambda d_2 \left( \zeta A_{11} k_1 - \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta} A_{12} k_2 \right) = -0,5q. \end{cases} \quad (14)$$

Решение системы:

$$\begin{cases} A_{11} = \frac{0,5q}{\lambda d_2 k_1} \frac{1}{\zeta} \frac{1 - \frac{1}{\zeta}}{1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta^2}}; \\ A_{12} = -\frac{0,5q \left( 1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta} \right)}{\lambda d_1 k_2 \left( 1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta^2} \right)}. \end{cases} \quad (15)$$

Формулы (11) показывают связь коэффициентов друг с другом. Полученное выше решение (15) позволяет выписать еще одну формулу для связи коэффициентов при экспоненте:

$$A_{11} = -A_{12} \frac{\lambda d_1 k_2}{\lambda d_2 k_1} \frac{1}{\zeta} \frac{1 - \frac{1}{\zeta}}{1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta^2}}. \quad (16)$$

Проведенные выкладки показывают, что решение в виде (6) существует. Отклонение распределения температуры от однородного в общем случае описывается суммой двух экспонент, а все коэффициенты при экспоненте прямо пропорциональны дополнительному потоку

теплоты через теплопроводное включение, что в рамках рассматриваемой модели эквивалентно зависимости от  $\Psi$  заложенной в формуле (1).

Используя условие, что дополнительный поток теплоты через теплопроводное включение прямо пропорционален перепаду температуры и обратно пропорционален сопротивлению теплопередаче теплопроводного включения, можно полностью выразить все коэффициенты через характеристики узла. Однако, это трудоемкое вычисление, в результате дает весьма громоздкие формулы, ценность которых существует только в рамках модельных конструкций. Для использования в реальных конструкциях все необходимые зависимости получены. Подтверждена экспоненциальная форма зависимости. Найдены показатели экспоненты. Подтверждена форма зависимости от  $\Psi$ .

В реальных конструкциях теплопроводные включения и облицовочные слои всегда имеют ненулевой размер, поэтому точное решение представимо лишь в виде ряда (бесконечной суммы экспоненциальных членов). Описанная форма упрощенного решения, пусть и вносящая небольшое искажение в распределение температуры, позволяет качественно анализировать полученные результаты, что очень важно для дальнейшего практического использования.

Полученные решения позволяют заметить детали связи между основными характеристиками для узла с линейным теплопроводным включением.

Важнейшее из таких замечаний – показатели экспоненты везде зависят только от облицовочных слоев и коэффициентов теплообмена и не зависят от термического сопротивления конструкции, ее геометрических размеров и свойств теплопроводного включения. Такая закономерность объясняется тем, что за пределами теплопроводного включения конструкция только перераспределяет тепловую энергию и, судя по результатам, делает это по одному и тому же закону, независимо от количества тепловой энергии и сопутствующего переноса по глади конструкции. Это замечание позволяет обобщать результаты единичных расчетов на целые группы конструкций и теплопроводных включений.

#### **Точечное теплопроводное включение.**

Аналогично можно найти приближенное аналитическое решение уравнения теплопроводности для идеального узла с точечным теплопроводным включением. Так как ход решения в целом совпадает, далее будут отражены только ключевые моменты: постановка задачи, решение, выводы.

Наиболее важный момент, на который необходимо обратить внимание, возможность обобщения данных расчета для точечной и линейной неоднородности. Ясно, что для точечного теплопроводного включения функция, описывающая отклонение температуры, будет отличаться от (2), но в аргументе функции также будет множитель. Установить связь этих множителей для линейного и точечного случаев – самая важная задача этого исследования.

По результатам рассмотрения частных примеров для точечного теплопроводного включения малого по сравнению с размерами узла сечения (например, статья [6]), можно записать общий вид приближенного решения:

$$\Delta\tau = AK_0(vr). \quad (17)$$

где  $A$  и  $v$  – константы, зависящие от выбора узла;  $r$  – расстояние от центра теплопроводного включения;  $K_0$  – модифицированная функция Бесселя второго рода нулевого порядка, она же функция Макдональда.

Конструкция совпадает с использованной выше для исследования линейного теплопроводного включения. Теплопроводное включение, имеет нулевой диаметр. Так как неоднородность точечная, узел имеет осевую симметрию относительно оси проходящей перпендикулярно конструкции через теплопроводное включение. Пользуясь этим, дальнейший поиск решения и визуализация результатов делается в цилиндрических координатах. Основные характеристики и их обозначения остаются без изменений.

Уравнение теплопроводности, упрощается аналогично (3), но в цилиндрических координатах.

$$\begin{cases} \lambda d_1 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \frac{d\tau_1}{dr} \right] - \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{yT}} + \alpha_B (t_B - \tau_1) = 0; \\ \lambda d_2 \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left[ r \frac{d\tau_2}{dr} \right] + \frac{\tau_1 - \tau_2}{R_{yT}} + \alpha_H (t_H - \tau_2) = 0. \end{cases} \quad (18)$$

Граничные условия на оси:

$$\begin{cases} 2\pi\lambda d_1 r \frac{d\tau_1}{dr} = Q \\ 2\pi\lambda d_2 r \frac{d\tau_2}{dr} = -Q \end{cases} \quad \text{при } r = 0, \quad (19)$$

где  $Q$  – это дополнительный поток теплоты через теплопроводное включение, Вт.

Вдали от оси:

$$\begin{cases} \tau_1 = t_B - \frac{1}{\alpha_B} \frac{t_B - t_H}{\frac{1}{\alpha_B} + R_{yT} + \frac{1}{\alpha_H}} \\ \tau_2 = t_H + \frac{1}{\alpha_H} \frac{t_B - t_H}{\frac{1}{\alpha_B} + R_{yT} + \frac{1}{\alpha_H}} \end{cases} \quad \text{при } r \rightarrow +\infty. \quad (20)$$

Последние условие означает, что вдали от включения распределение температуры стремится к распределению однородной конструкции.

Решение системы (18) будем искать в следующем виде:

$$\begin{cases} \tau_1 = t_B - \frac{1}{\alpha_B} \frac{t_B - t_H}{\frac{1}{\alpha_B} + R_{yT} + \frac{1}{\alpha_H}} + A_{11} K_0(v_1 r) + A_{12} K_0(v_2 r); \\ \tau_2 = t_H + \frac{1}{\alpha_H} \frac{t_B - t_H}{\frac{1}{\alpha_B} + R_{yT} + \frac{1}{\alpha_H}} + A_{21} K_0(v_1 r) + A_{22} K_0(v_2 r). \end{cases} \quad (21)$$

Данный вид решения автоматически удовлетворяет граничным условиям (20).

Ход решения практически идентичен описанному выше, поэтому сразу запишем основные результаты.

Решение в форме (21) подтверждается.

Коэффициенты находятся приближенно.

$$\begin{cases} (v_1)^2 = \frac{\alpha_H + \frac{1}{R_{yT}}}{\lambda d_2}; \\ (v_2)^2 = \frac{\alpha_B + \frac{1}{R_{yT}}}{\lambda d_1}. \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} A_{11} = \frac{Q}{2\pi\lambda d_2} \frac{1}{\zeta} \frac{1 - \frac{1}{\zeta}}{1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta^2}}; \\ A_{12} = \frac{-Q}{2\pi\lambda d_1} \frac{1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta}}{1 + \frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta^2}}. \end{cases} \quad (23)$$

где  $\zeta$  определяется по формуле (13).

Для большинства практически важных случаев достаточно будет даже более грубого приближения:

$$\begin{cases} (v_1)^2 = \frac{\alpha_H}{\lambda d_2}; \\ (v_2)^2 = \frac{\alpha_B}{\lambda d_1}. \end{cases} \quad (24)$$

Связь между коэффициентами при экспоненте такая же, как для случая линейного теплопроводного включения.

$$\begin{cases} A_{21} = \zeta A_{11}; \\ A_{22} = -\frac{\lambda d_1}{\lambda d_2} \frac{1}{\zeta} A_{12}. \end{cases} \quad (25)$$

Также как и для линейного теплопроводного включения, форма кривой отклонения температуры определяется только характеристиками облицовочных слоев и коэффициентами теплообмена, а масштаб удельными потерями теплоты через неоднородность.

Есть и отличие. Из-за геометрических особенностей задачи в месте расположения теплопроводного включения отклонение температуры стремится в бесконечность, что противо-

речит здравому смыслу. Это противоречие можно разрешить, введя реальный размер (диаметр) теплопроводного включения и используя связь между перепадом температуры в месте расположения включения и дополнительным потоком теплоты.

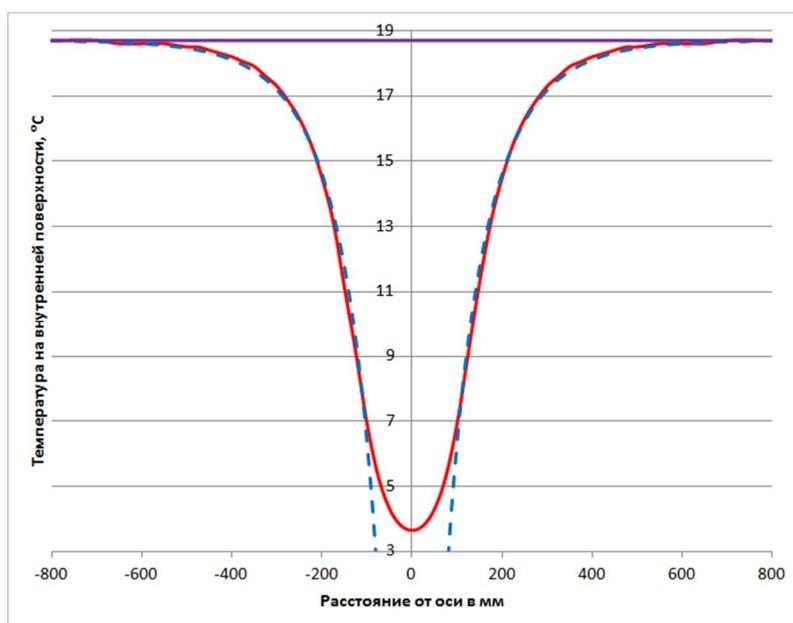
Из проведенных рассмотрений следует, что множитель в аргументе функции совпадает для линейного и для точечного теплопроводного включения. Также, он практически не зависит от иных частей конструкции, кроме облицовочного слоя.

Для иллюстрации близости точного численного и приближенного аналитического решения на рисунке 2 приведен график распределения температуры по внутренней поверхности конструкции для уединенной точечной неоднородности. Точное решение показано сплошной красной линией. Приближенное решение, полученное по формуле (17) – пунктирной синей линией. Сплошной фиолетовой линией показано распределение температуры для однородного узла.

В статье «Взаимовлияние точечных теплотехнических неоднородностей» настоящего сборника исследованы два варианта точечного теплопроводного включения разного масштаба («арматура» и «шпонка»). Для теплопроводного включения типа «арматура» отклонение температуры от однородного распределения не велико, что обусловлено мощностью включения. Поэтому такое включение не подходит (слишком мелкие значения отклонений температуры). График на рис. 2 построен на основе расчета температурного поля для теплопроводного включения типа «шпонка». Мощность включения максимальная из приведенных в статье –  $\chi = 0,33 \text{ Вт/}^\circ\text{C}$ , теплопроводность материала включения  $20 \text{ Вт/(м}^\circ\text{C)}$ .

Для упрощения проверки результатов полученных из анализа приближенных решений конструкция в примере выбрана идентичной конструкции использовавшейся для анализа линейных теплопроводных включений.

Для построения аппроксимации по формуле (17) коэффициент  $\nu$  выбран равным коэффициенту  $k$  полученному по аппроксимации формулой (2) графика на рисунке 1. Из модельных исследований, проведенных в настоящей статье, следует, что эти коэффициенты должны быть равны, так как не зависят ни от вида включения, ни от его мощности. На графике видно хорошее совпадение точной и аппроксимационной кривой везде, кроме места расположения теплопроводного включения (около 0). Что полностью подтверждает сделанные ранее выводы.



**Рисунок 2 – Распределение температуры по внутренней поверхности однородной и неоднородной конструкции для одиночного точечного теплопроводного включения. Результат прямого расчета и аппроксимация по формуле (17)**

Избавить приближенное решение от бесконечного роста температуры в месте расположения точечного теплопроводного включения можно было бы с помощью введения реальных

размеров включения и замены температуры поверхности включения константой, получаемой из дополнительных расчетов, а граничное условие, сдвинув из  $r=0$  на границу включения.

#### **Выводы.**

В данной статье предложен удобный вид функций приближенного распределения температуры для линейного и точечного теплопроводного включения. Данные функции могут послужить базой для построения общего приближенного решения, путем введения поправок.

Для идеальной конструкции получены аналитические выражения предложенных функций. Показана связь между коэффициентами для линейного и точечного случаев. Полученные результаты позволяют обобщать данные по удельным потерям теплоты, разделяя влияние конструкции и теплопроводного включения.

Развитие описанного подхода позволит значительно упростить расчет и систематизацию удельных потерь теплоты для различных узлов реальных ограждающих конструкций.

### **СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Малявина, Е.Г. Определение теплопотерь подземной части здания расчетом трехмерного температурного поля грунта [Текст] / Е.Г. Малявина, Д.С. Иванов // Вестник МГСУ. – 2011. – №7. – С. 209-215.
2. Мурий, М.А. Расчёт сопротивления теплопередаче стен кирпично-монолитных зданий [Текст] / М.А. Мурий, Н.А. Лошманов // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. – 2012. – Т. 1. – С. 256-261.
3. Кочев, А.Г. Решение задачи по расчету температурных полей оконных откосов зданий [Текст] / А.Г. Кочев, А.С. Сергиенко // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Физико-химические проблемы и высокие технологии строительного материаловедения. – 2014. – №2 (9). – С. 67-76.
4. Крайнов, Д.В. Определение дополнительных потоков теплоты через элементы фрагмента ограждающей конструкции [Текст] / Д.В. Крайнов, Р.А. Садыков // Жилищное строительство. – 2012. – №6. – С. 10-12.
5. Козлов, В.В. Взаимовлияние теплотехнических неоднородностей при расчете приведенного сопротивления теплопередаче [Текст] / В.В. Козлов // В сб. докладов «Строительная физика. Системы обеспечения микроклимата и энергосбережения в зданиях». Международная конференция – академические чтения, 2-4 июля 2014. – М.: МГСУ, 2014. – С. 26-37.
6. Козлов, В.В. Исследование теплотехнических свойств теплоизоляционного фасада с тонким штукатурным слоем в зоне расположения дюбеля. «Актуальные вопросы строительной физики» [Текст] / В.В. Козлов // Academia. Архитектура и строительство. – 2009. – №5. С. 346 – 355.

#### **Козлов Владимир Владимирович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук

Тел.: +7 916 378 45 44

E-mail: Kozlov.v2@yandex.ru

#### **Тишнер-Егорова Татьяна-Эмилия Августовна**

Общество с ограниченной ответственностью «АЦэт Арматурэн Евразия», г. Москва

Генеральный директор

Тел.: +7 931 312 99 09

E-mail: t-e.tischner@hotmail.com; tse239@gmail.com

---

V. KOZLOV, T.-E. TISCHNER-EGOROVA

### **APPROXIMATE SOLUTION OF THE HEAT EQUATION FOR LINE AND POINT HEAT-CONDUCTING INCLUSIONS**

*At the present time in the construction thermal physics there is an issue node systematization by their thermal properties. It requires a deep understanding of the process of heat transfer through the heterogeneous parts of structure and detail to solve this problem. In this paper, analytical solutions of the heat equation for the node model with linear and point heterogeneity are obtained. For the both*

*cases it is proposed convenient form of the approximate solution. The link between the coefficients in the solution for line and point cases is shown. Approximate analytical solutions are compared with the results of exact numerical calculation. These solutions give possibility to understand more about the impact of components of constructions to the heat loss through the nodes. It will help to separate the influence of the constructions and the inclusions to the node properties.*

**Keywords:** architectural acoustics, reverberation time, organ hall, acoustic measurements.

### BIBLIOGRAPHY

1. Maljavina, E.G. Opredelenie teplopoter' podzemnoj chasti zdaniya raschetom trehmernogo temperaturnogo polja grunta [Tekst] / E.G. Maljavina, D.S. Ivanov // Vestnik MGSU. – 2011. – №7. – S. 209-215.
2. Muryj, M.A. Raschjot soprotivlenija teploperedache sten kirpichno-monolitnyh zdaniy [Tekst] / M.A. Muryj, N.A. Loshmanov // Nauchno-tehnicheskoe i jekonomicheskoe sotrudnichestvo stran ATR v XXI veke. – 2012. – T. 1. – S. 256-261.
3. Kochev, A.G. Reshenie zadachi po raschetu temperaturnyh polej okonnyh otkosov zdaniy [Tekst] / A.G. Kochev, A.S. Sergienko // Nauchnyj vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Serija: Fiziko-himicheskie problemy i vysokie tehnologii stroitel'nogo materialovedenija. – 2014. – №2 (9). – S. 67-76.
4. Krajnov, D.V. Opredelenie dopolnitel'nyh potokov teploty cherez jelementy fragmenta ograzhdajushhej konstrukcii [Tekst] / D.V. Krajnov, R.A. Sadykov // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – №6. – S. 10-12.
5. Kozlov, V.V. Vzaimovlijanie teplotehnicheskikh neodnorodnostej pri raschete privedennogo soprotivlenija teploperedache [Tekst] / V.V. Kozlov // V sb. dokladov «Stroitel'naja fizika. Sistemy obespechenija mikroklimata i jenergosberezenija v zdaniyah». Mezhdunarodnaja konferencija – akademicheskie chtenija, 2-4 ijulja 2014. – M.: MGSU, 2014. – S. 26-37.
6. Kozlov, V.V. Issledovanie teplotehnicheskikh svojstv teploizoljacionnogo fasada s tonkim shtukaturnym sloem v zone raspolozhenija djubelja. «Aktual'nye voprosy stroitel'noj fiziki» [Tekst] / V.V. Kozlov // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2009. – №5. S. 346 – 355.

#### **V. Kozlov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences  
Ph.:+7 916 378 45 44  
E-mail: Kozlov.v2@yandex.ru

#### **T.-E. Tischner-Egorova**

Society with limited liability «АЦэт Арматурэн Евразия», Moscow  
General director  
Ph.:+7 931 312 99 09  
E-mail: t-e.tischner@hotmail.com; tse239@gmail.com

РЫНКОВСКАЯ М.И.

## ВЛИЯНИЕ ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ПУАССОНА НА ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА НДС ТОРСА-ГЕЛИКОИДА

*В статье исследуется влияние значения коэффициента Пуассона на точность результатов расчета напряженно-деформированного состояния геликоидальной оболочки в форме торса-геликоида. Даются рекомендации по учету коэффициента Пуассона.*

**Ключевые слова:** торс-геликоид, коэффициент Пуассона, асимптотический метод малого параметра, тонкая упругая оболочка.

В ряде работ, посвященных аналитическому расчету тонких оболочек неканонической формы, для упрощения математических выкладок при решении системы дифференциальных уравнений в перемещениях пренебрегают коэффициентом Пуассона, т.е. принимают его равным нулю. В данной работе предпринята попытка анализа корректности такого подхода к расчету НДС длинного пологого развертывающегося геликоида (торса-геликоида).

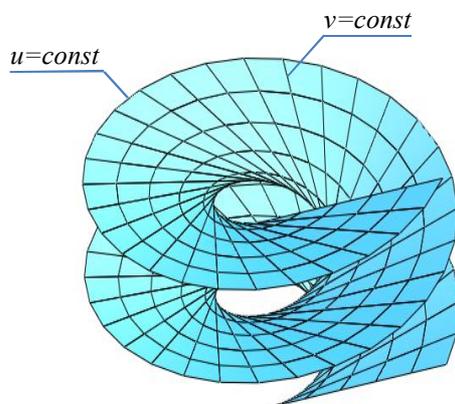
Расчет проведем по моментной теории тонких упругих оболочек в форме длинного развертывающегося геликоида с применением асимптотического метода малого параметра. Наиболее подробно этот метод применительно к торсу-геликоиду описывается в работах [1], [2].

Геометрия торса-геликоида, способы развертывания его на плоскость в кольцевую область и способы его задания в параметрической форме изложены в монографии [3]. В частности, там предлагается задавать торс-геликоид параметрическими уравнениями:

$$x = x(u, s) = a_0 \cos^2 \varphi \left( \cos \frac{s}{m} - \frac{u}{m} \sin \frac{s}{m} \right), \quad y = y(u, s) = a_0 \cos^2 \varphi \left( \sin \frac{s}{m} + \frac{u}{m} \cos \frac{s}{m} \right),$$

$$z = z(u, s) = (s + u) \sin \varphi,$$

в неортогональной сопряженной системе криволинейных координат  $u, s$ , где  $m = a_0 \cos \varphi$ ,  $a = a_0 \cos^2 \varphi$ ,  $b = a_0 \sin \varphi \cos \varphi$ ;  $a_0$  – радиус развертки винтового ребра возврата торса-геликоида на плоскость,  $\varphi$  – угол наклона прямолинейных образующих торса-геликоида к плоскости,  $\operatorname{tg} \varphi = b/a$ . Кстати, торс-геликоид образовывается касательными прямыми к винтовой линии одинакового ската, лежащей на круговом цилиндре, которая принимается за его ребро возврата (рис. 1).



**Рисунок 1 – Торс-геликоид**

Здесь координатные линии  $u$  совпадают с прямолинейными образующими торса-геликоида, а линии  $s$  – равноотстоящие винтовые линии поверхности.

Геометрические уравнения линейной теории оболочек для произвольной системы криволинейных координат, полученные А.Л. Гольденвейзером [4], подставим в физические уравнения теории оболочек, при этом учтем одномерность решаемой задачи ( $\partial \dots / \partial s = 0$ ) и введем безразмерные параметры:

$$\alpha = \frac{u}{a_0}, U = \frac{U_u}{a_0}, V = \frac{U_s}{a_0 B}, W = \frac{U_z}{a_0}, \mu = \operatorname{tg} \varphi, t = \frac{h^2}{12 a_0^2},$$

где  $U_u, U_s, U_z$  – компоненты вектора упругого смещения срединной поверхности оболочки толщиной  $h$ . Результат подставим в три уравнения равновесия  $\Sigma x_n = 0, \Sigma y_n = 0, \Sigma z_n = 0$  элемента оболочки.

После ряда математических преобразований получим систему трех обыкновенных дифференциальных уравнений в безразмерных перемещениях  $U, V, W$  для расчета тонких упругих оболочек в форме длинных торсов-геликоидов, подверженных действию равномерно распределенной нагрузки типа собственного веса:

$$\begin{aligned} \frac{d}{d\alpha} \left[ \alpha^3 \frac{d}{d\alpha} \left( \frac{U}{\alpha} \right) \right] &= -\frac{a_0 \alpha^4}{CB^2} X + \mu \left[ W - \frac{\alpha}{B^2} (1 + \nu \alpha^2) \frac{dW}{d\alpha} \right] = -\frac{a_0 \alpha^4}{CB^2} X + \mu E, \\ \frac{B^4}{\alpha} \frac{dV}{d\alpha} &= -\frac{B^2}{\alpha} \frac{dU}{d\alpha} + 2U + 2\mu W - \frac{2a_0}{(1-\nu)C} \int \alpha (BY + X) d\alpha + A_1, \\ \frac{d}{d\alpha} \left\{ t \frac{d}{d\alpha} \left[ \frac{B^4}{\alpha} \frac{d}{d\alpha} \left( \frac{1}{\alpha} \frac{dW}{d\alpha} \right) \right] + \mu \frac{1-\nu}{2\alpha} \left( \frac{dU}{d\alpha} + B^2 \frac{dV}{d\alpha} \right) + \mu \alpha \frac{dU}{d\alpha} + \mu \nu (U + \mu W) \right\} &+ \frac{a_0 \alpha}{C} \left( \mu X + \mu \frac{Y}{B} - Z \right) = 0, \end{aligned}$$

где  $U, V, W$  – безразмерные функции перемещений;  $X, Y, Z$  – компоненты внешней поверхностной распределенной нагрузки.

Для применения метода малого параметра необходимо принять, что тангенс угла наклона прямолинейных образующих срединной поверхности торса-геликоида к плоскости  $z = 0$  намного меньше единицы [5], т.е.  $\mu = \operatorname{tg} \varphi < 1$ , тогда решения  $U, V, W$  можно представить в виде рядов по степеням малого параметра  $\mu$ :

$$U = U(\alpha, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} U_k(\alpha) \mu^k, V = V(\alpha, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} V_k(\alpha) \mu^k, W = W(\alpha, \mu) = \sum_{k=0}^{\infty} W_k(\alpha) \mu^k,$$

где  $U_k, V_k, W_k$  – векторные коэффициенты, подлежащие определению.

Учитывая первые три члена рядов, можно записать параметры перемещений срединной поверхности как:

$$U = U_0 + \mu U_1 + \mu^2 U_2; V = V_0 + \mu V_1 + \mu^2 V_2; W = W_0 + \mu W_1 + \mu^2 W_2.$$

Для каждого члена рядов необходимо поставить граничные условия. Если рассчитывать пологий торс-геликоид с заземленными винтовыми краями с точностью до первых трех членов рядов разложения, то параметры перемещений записываются в виде [2]:

$$U = \mu U_1; V = \mu V_1; W = W_0 + \mu^2 W_2, \text{ т.е. } U_2 = V_2 = 0.$$

Внутренние усилия и моменты вычислялись по следующим формулам:

$$N_u = \mu \frac{C}{\alpha} \left[ B \frac{dU_1}{d\alpha} + \frac{1}{B} \left( \frac{1}{\alpha} + \nu \alpha \right) (U_1 + \mu W_0) \right], N_s = C \mu \frac{B}{\alpha} \left[ \frac{U_1 + \mu W_0}{\alpha} - (1-\nu) \frac{dV_1}{d\alpha} + \nu \frac{dU_1}{d\alpha} \right],$$

$$S = \frac{C \mu}{2\alpha} \left[ (1-\nu) B^2 \frac{dV_1}{d\alpha} - (1+\nu) \frac{dU_1}{d\alpha} - \frac{2}{\alpha} (U_1 + \mu W_0) \right],$$

$$M_u = -\frac{D}{a_0 \alpha} \left[ \frac{B^2}{\alpha} \left( \frac{d^2 W_0}{d\alpha^2} + \mu^2 \frac{d^2 W_2}{d\alpha^2} \right) + \left( \nu - \frac{1}{\alpha^2} \right) \left( \frac{dW_0}{d\alpha} + \mu^2 \frac{dW_2}{d\alpha} \right) \right],$$

$$M_s = -\frac{D}{a_0 \alpha} \left[ \nu \frac{B^2}{\alpha} \left( \frac{d^2 W_0}{d\alpha^2} + \mu^2 \frac{d^2 W_2}{d\alpha^2} \right) + \left( 1 - \frac{\nu}{\alpha^2} \right) \left( \frac{dW_0}{d\alpha} + \mu^2 \frac{dW_2}{d\alpha} \right) \right],$$

$$M_{su} = (1-\nu) \frac{DB}{a_0 \alpha^2} \left( \left( \frac{d^2 W_0}{d\alpha^2} + \mu^2 \frac{d^2 W_2}{d\alpha^2} \right) - \frac{1}{\alpha} \left( \frac{dW_0}{d\alpha} + \mu^2 \frac{dW_2}{d\alpha} \right) \right),$$

$$Q_s = \frac{D}{a_0^2 \alpha^2} \left[ \frac{B^2}{\alpha} \left( \frac{d^3 W_0}{d\alpha^3} + \mu^2 \frac{d^3 W_2}{d\alpha^3} \right) + \left( 1 - \frac{3}{\alpha^2} \right) \left( \left( \frac{d^2 W_0}{d\alpha^2} + \frac{d^2 W_2}{d\alpha^2} \right) - \frac{1}{\alpha} \left( \frac{dW_0}{d\alpha} + \frac{dW_2}{d\alpha} \right) \right) \right],$$

$$Q_u = -BQ_s.$$

Исследование влияния учета коэффициента Пуассона на напряженно-деформированное состояние торса-геликоида производилось с применением авторской расчетной программы, представленной в [6].

В первом примере для расчета возьмем торс-геликоид толщиной  $h = 0,1$  м с криволинейными винтовыми краями  $u_1 = 2$  м и  $u_2 = 4$  м, что соответствует внутреннему радиусу  $R_1 = 2,826$  м, внешнему радиусу  $R_2 = 4,467$  м, загруженный равномерно распределенной нагрузкой типа собственного веса  $q = 1 \text{ кН/м}^2$ , с защемленными криволинейными краями  $u = u_1 = \text{const}$  и  $u = u_2 = \text{const}$ . Для дополнительной проверки достоверности результатов рассматривались геликоиды с разными углами наклона прямолинейных образующих торса-геликоида к плоскости:  $\varphi = 3^\circ$  и  $\varphi = 15^\circ$ . Расчет был проведен для торса-геликоида с модулем упругости материала геликоида  $E = 32500 \text{ МПа}$  с учетом коэффициента Пуассона ( $\nu = 0,17$ ) и без учета ( $\nu = 0$ ).

Рассмотрим усилия, моменты и прогибы, возникающие в оболочке с углом наклона прямолинейных образующих  $\varphi = 3^\circ$  (рис. 2, 3), так как отличия в результатах, полученных для углов  $\varphi = 3^\circ$  и  $\varphi = 15^\circ$ , оказались идентичными. На эпюрах за  $\alpha = \frac{u}{a_0}$  обозначен безразмерный

параметр, равный отношению расстояния от ребра возврата до рассматриваемой точки на срединной поверхности оболочки ( $u$ ), взятого вдоль прямолинейной образующей, к радиусу развертки винтового ребра возврата торса-геликоида на плоскость ( $a_0$ ).

Результаты расчета для торса-геликоида с углом наклона прямолинейных образующих  $\varphi = 3^\circ$  с учетом коэффициента Пуассона ( $\nu = 0,17$ ) и в случае пренебрежения коэффициентом Пуассона ( $\nu = 0$ ) по поперечным усилиям  $Q_u$ ,  $Q_s$  и нормальным прогибам  $U_z$  почти полностью совпадают (разница в пределах 0,1%), по изгибающему моменту  $M_u$  разница составляет меньше 1%, а по сдвигающему усилию  $S$  около 2,4%.

В результатах по крутящему моменту  $M_{su}$  и нормальному усилию  $N_s$  расхождения достигают 21%, а по нормальной силе  $N_u$  отличие достигает 74%, следовательно, доверять результатам упрощенного расчета с принятым коэффициентом Пуассона равным нулю нельзя.

Во втором примере был взят стальной торса-геликоид толщиной  $h = 0,01$  м с криволинейными винтовыми краями  $u_1 = 0,1$  м и  $u_2 = 1$  м, что соответствует внутреннему радиусу  $R_1 = 1,002$  м, внешнему радиусу  $R_2 = 1,405$  м, загруженный равномерно распределенной нагрузкой типа собственного веса  $q = 1 \text{ кН/м}^2$ , с защемленными криволинейными краями  $u = u_1 = \text{const}$  и  $u = u_2 = \text{const}$ , с модулем упругости материала  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$ . Рассматривались два случая расчета: случай с учетом коэффициента Пуассона ( $\nu = 0,3$ ) и случай пренебрежения им ( $\nu = 0$ ).

На рисунках 4, 5 представлены результаты расчета усилий, моментов и прогибов, возникающих в оболочке с углом наклона прямолинейных образующих  $\varphi = 3^\circ$  с учетом ( $\nu = 0,3$ ) и без учета ( $\nu = 0$ ) коэффициента Пуассона.

Результаты расчета торса-геликоида с углом наклона прямолинейных образующих  $\varphi = 3^\circ$ , модулем упругости  $E = 2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$  с учетом коэффициента Пуассона ( $\nu = 0,3$ ) и в случае пренебрежения коэффициентом Пуассона ( $\nu = 0$ ) по поперечным усилиям  $Q_u$ ,  $Q_s$  и по нормальным прогибам  $U_z$  почти полностью совпадают (разница в пределах 0,1%), по изгибающему моменту  $M_u$  отличаются в пределах 0,32%, а по сдвигающему  $S$  и нормальному  $N_s$  усилиям отличаются примерно на 5% и 7% соответственно.

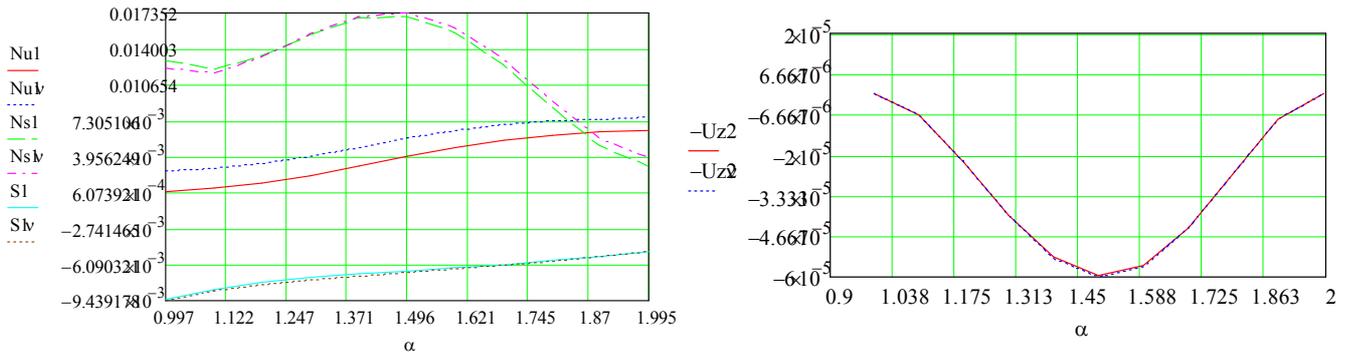


Рисунок 2 – Эпюры  $U_z$ ,  $N_w$ ,  $N_s$ ,  $S$  при  $\varphi = 3^\circ$  с учетом ( $Nu1v$ ,  $Ns1v$ ,  $S1v$ ,  $Uz2v$ ) и без учета ( $Nu1$ ,  $Ns1$ ,  $S1$ ,  $Uz2$ ) коэффициента Пуассона равным  $\nu = 0,17$

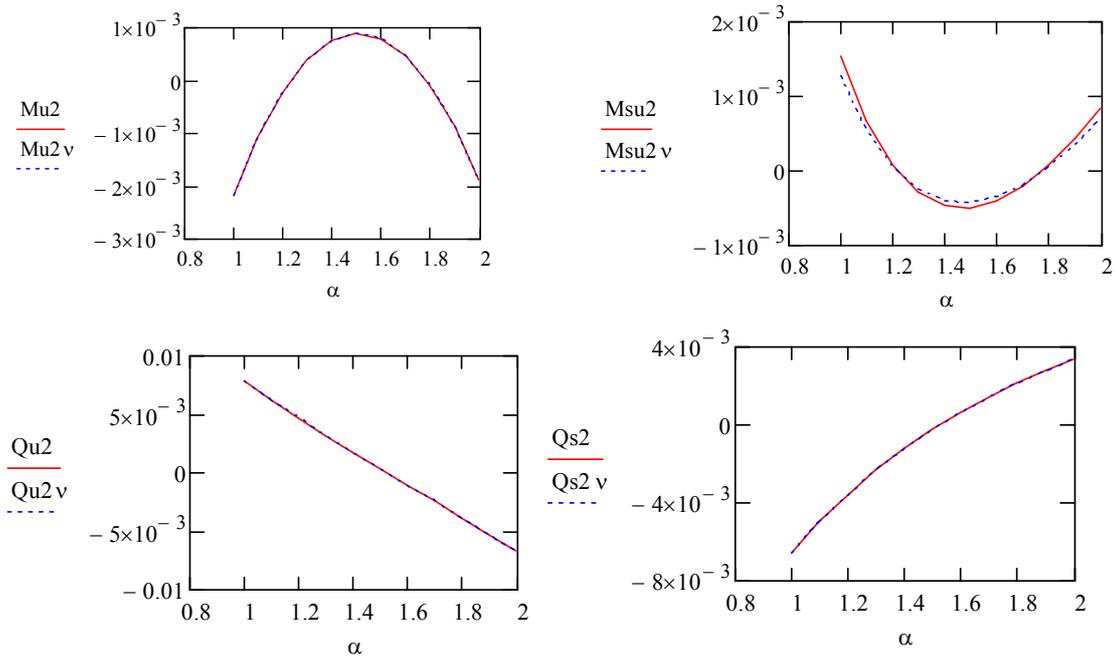


Рисунок 3 – Эпюры  $M_w$ ,  $M_{sw}$ ,  $Q_w$ ,  $Q_s$  при  $\varphi = 3^\circ$  с учетом ( $Mu2v$ ,  $Msu2v$ ,  $Qu2v$ ,  $Qs2v$ ) и без учета ( $Mu2$ ,  $Msu2$ ,  $Qu2$ ,  $Qs2$ ) коэффициента Пуассона  $\nu=0,17$

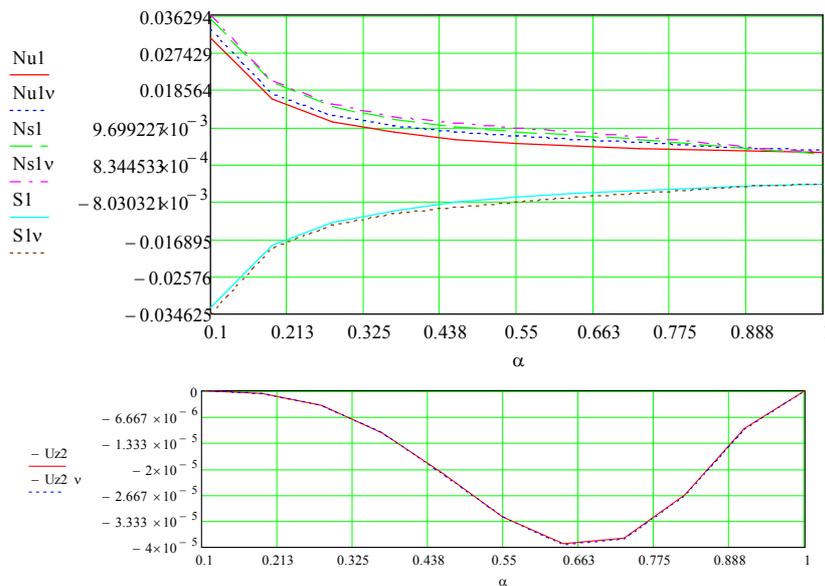


Рисунок 4 – Эпюры  $U_z$ ,  $N_w$ ,  $N_s$ ,  $S$  при  $\varphi = 3^\circ$  с учетом ( $Nu1v$ ,  $Ns1v$ ,  $S1v$ ,  $Uz2v$ ) и без учета ( $Nu1$ ,  $Ns1$ ,  $S1$ ,  $Uz2$ ) коэффициента Пуассона  $\nu=0,3$

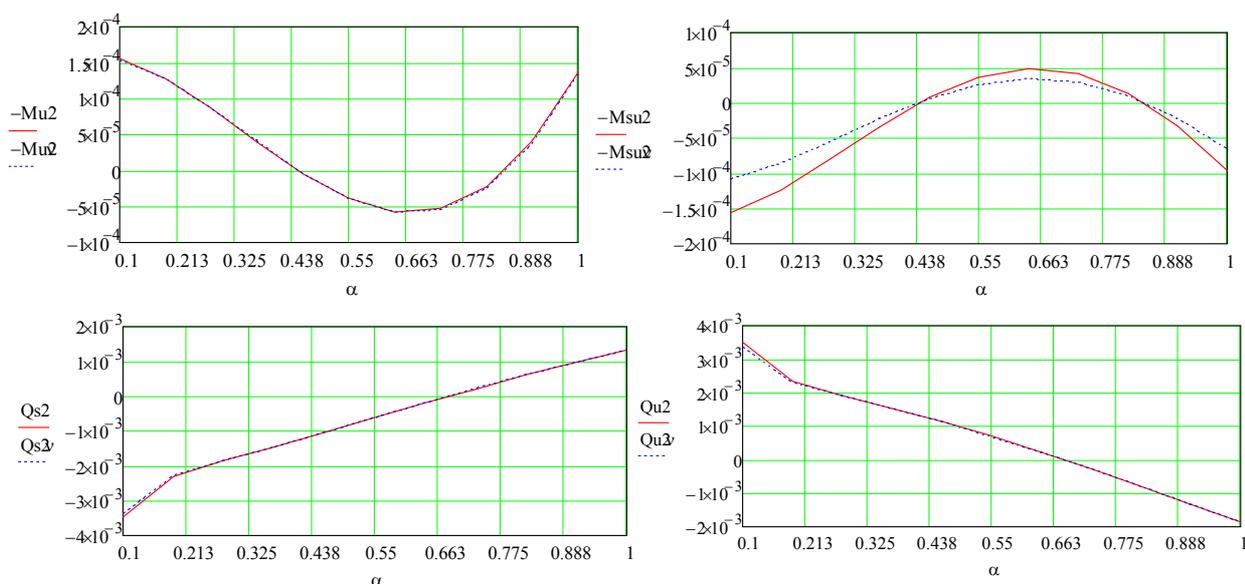


Рисунок 5 – Эпюры  $M_w$ ,  $M_{sv}$ ,  $Q_w$ ,  $Q_s$  при  $\varphi=3^\circ$  с учетом ( $Mu2v$ ,  $Ms2v$ ,  $Qu2v$ ,  $Qs2v$ ) и без учета ( $Mu2$ ,  $Ms2$ ,  $Qu2$ ,  $Qs2$ ) коэффициента Пуассона  $\nu=0,3$

В результатах по крутящему моменту  $M_{su}$  расхождения достигают 43%, а по нормальной силе  $N_u$  отличие в среднем составляет 54%, достигая в некоторых точках 83%, следовательно, как и в первом примере, доверять результатам упрощенного расчета при  $\nu = 0$  нельзя.

В работе [7] также был проведен анализ влияния коэффициента Пуассона на НДС развертывающегося геликоида и сделан вывод о том, что его влияние незначительно. При этом отличие в значениях продольной силы  $N_u$  в случае расчета железобетонной оболочки с учетом и без учета коэффициента Пуассона, полученное в указанной работе [7] достигает 20%, что, не смотря на вывод автора, представляется существенным.

**Заключение.**

Отличия в результатах, полученных для крутящего момента  $M_{su}$ , нормальной силы  $N_u$ , а иногда и для нормальной силы  $N_s$  при расчете развертывающегося геликоида с применением асимптотического метода малого параметра с учетом коэффициента Пуассона ( $\nu = 0,3$ ) и без учета ( $\nu = 0$ ), получаются значительными. Это может быть обусловлено как большим влиянием коэффициента Пуассона на напряженно-деформированное состояние торса-геликоида в части нормальных усилий вдоль прямолинейных и криволинейных координат, так и недостаточным числом членов рядов, принятых для аналитического расчета.

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Кривошапко, С.Н. Применение асимптотического метода малого параметра для аналитического расчета тонких упругих торсов-геликоидов [Текст] / С.Н. Кривошапко // Пространственные конструкции зданий и сооружений. – М.: ООО «Девятка Принт», 2004. – Вып. 9. – С. 36-44.
2. Рынкoвская, М.И. О применении асимптотического метода малого параметра для аналитического расчета тонких упругих торсов-геликоидов [Текст] / М.И. Рынкoвская // Научная сессия «Особенности проектирования и расчета пространственных конструкций на прочность, устойчивость и прогрессирующее разрушение» 14-15 апреля 2009 г. – М.: МОО «Пространственные конструкции», 2009. – С. 77-78.
3. Кривошапко, С.Н. Геометрия линейчатых поверхностей с ребром возврата и линейная теория расчета торсовых оболочек [Текст]: Монография. – М.: Изд-во РУДН, 2009. – 357 с.
4. Гольденвейзер, А.Л. Теория упругих тонких оболочек [Текст] / А.Л. Гольденвейзер. – М.: ГТТИ, 1953. – 544 с.
5. Кривошапко, С.Н. Расчет прямых и развертывающихся геликоидов [Текст] / С.Н. Кривошапко // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 1999. – Вып. 8. – С. 10-15.

6. Рынковская, М.И. Изгибание и задачи расчета тонких упругих оболочек в форме прямого и развертывающегося геликоидов на распределенную нагрузку и осадку одной из криволинейных опор: дисс. канд. техн. наук: 05.23.17 / Рынковская Марина Игоревна. – М., 2013. – 192 с.

7. Кумудини Джаявардена К. Решение задач расчета упругих оболочек в форме развертывающихся геликоидов: дисс. канд. техн. наук: 05.23.17 / М.К.А. Кумудини Джаявардена. – М.: УДН, 1992. – 183 с.

**Рынковская Марина Игоревна**

Российский университет дружбы народов, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: marine\_step@mail.ru

---

M. RYNKOVSKAYA

**THE INFLUENCE OF THE VALUES OF POISSON'S RATIO  
ON THE ACCURACY OF THE RESULTS OF CALCULATION  
OF STRESS-STRAIN STATE OF THE TORSO-HELIX**

*The article examines the impact of Poisson's ratio for the accuracy of the calculation of stress-strain state in the form of a helical shell torso-helicoid. There is also guidance on accounting for Poisson's ratio.*

**Keywords:** *torso-helicoid, the Poisson's ratio, asymptotical method of small parameter, thin elastic shell.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Krivoschapko, S.N. Primenenie asimptoticheskogo metoda malogo parametra dlja analiticheskogo rascheta tonkih uprugih torsov-gelikoidov [Tekst] / S.N. Krivoschapko // Prostranstvennye konstrukcii zdanij i sooruzhenij. – М.: ООО «Devjatka Print», 2004. – Vyp. 9. – S. 36-44.

2. Rynkovskaja, M.I. O primenении asimptoticheskogo metoda malogo parametra dlja analiticheskogo rascheta tonkih uprugih torsov-gelikoidov [Tekst] / M.I. Rynkovskaja // Nauchnaja sessija «Osobennosti proektirovanija i rascheta prostranstvennyh konstrukcij na prochnost', ustojchivost' i progressirujushhee razrushenie» 14-15 aprelja 2009 g. – М.: МОО «Prostranstvennye konstrukcii», 2009. – S. 77-78.

3. Krivoschapko, S.N. Geometrija linejchatyh poverhnostej s rebrom vozvrata i linejnaja teorija rascheta torsovyh obolochek [Tekst]: Monografija. – М.: Izd-vo RUDN, 2009. – 357 s.

4. Gol'denvejzer, A.L. Teorija uprugih tonkih obolochek [Tekst] / A.L. Gol'denvejzer. – М.: GTTI, 1953. – 544 s.

5. Krivoschapko, S.N. Raschet prjamyh i razvertyvajushhih gelikoidov [Tekst] / S.N. Krivoschapko // Stroitel'naja mehanika inzhenernyh konstrukcij i sooruzhenij. – 1999. – Vyp. 8. – S. 10-15.

6. Rynkovskaja, M.I. Izgibanie i zadachi rascheta tonkih uprugih obolochek v forme prjamogo i razvertyvajushhegosja gelikoidov na raspredelennuju nagruzku i osadku odnoj iz krivolinejnyh opor: diss. kand. tehn. nauk: 05.23.17 / Rynkovskaja Marina Igorevna. – М., 2013. – 192 s.

7. Kumudini Dzhajavardena K. Reshenie zadach rascheta uprugih obolochek v forme razvertyvajushhihsja gelikoidov: diss. kand. tehn. nauk: 05.23.17 / M.K.A. Kumudini Dzhajavardena. – М.: УДН, 1992. – 183 s.

**M. Rynkovskaya**

Peoples' friendship university of Russia, Moscow

Candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: marine\_step@mail.ru

ЧЕРНОВ К.М.

## ПРИЛОЖЕНИЕ ОБЪЕДИНЕННОЙ ТЕОРИИ ПРОЧНОСТИ К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СОСТАВНЫХ КОНСТРУКЦИЙ В ПРОЛЕТЕ СРЕЗА

*В задаче прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям выявлены новые очаги разрушения в пролете «среза»: от потери сцепления; от разрушения шва; от развития трещины снизу; от раздавливания бетона; от развития трещины сверху; от выкола бетона. Для обобщения вновь выявленных очагов разрушения, опираясь на диаграммы связи между интенсивностью напряжений и интенсивностью деформаций, построены рабочие предпосылки для развития объединенной теории прочности бетона с привлечением октаэдрических и главных деформаций, базирующаяся на современных представлениях о сопротивлении бетона с ниспадающей ветвью деформирования. Благодаря им, выполнен анализ рационального армирования шва между бетонами при наличии и отсутствии поперечной арматуры, который позволил повысить сопротивление шва сдвиговым деформациям в 4,27 раза по сравнению с предельным сопротивлением  $\varepsilon_1 = \varepsilon_{bu}$ ; и только в 2,63 раза – отрывным деформациям по сравнению с их предельным сопротивлением.*

**Ключевые слова:** реализация объединенной теории прочности, луч нагружения, диаграммы состояния, оси деформирования, железобетонные составные конструкции, расчетная модель прочности, наклонные трещины различных видов, сопротивление шва сдвиговым деформациям, новые очаги разрушения.

Анализ эволюции наиболее известных механических теорий прочности бетона, в том числе, приведенный в работах [1, 2], а также результатов описанных в них экспериментов, позволяет обратить внимание на следующие основные результаты.

Качественные особенности, обнаруживаемые экспериментальным путем, для каменных материалов и бетона, заключаются в том, что для характерного объема этих материалов в зависимости от типа напряженного состояния имеют место два вида разрушения: от отрыва по плоскости, перпендикулярной действующей силе, и путем сдвига по наклонной площадке, статически наиболее близкой к октаэдрической.

При построении объединенной теории прочности необходимо учитывать зависимость предельной деформации бетона от вида напряженного состояния как функции отношения первого инварианта тензора деформаций ко второму инварианту девиатора деформаций.

Допущение о постоянстве предельных значений параметров на выбранных осях выполняется лишь для оси  $\varepsilon_i$  (здесь предельный параметр  $\varepsilon_{bu}$ ). Что же касается оси  $\varepsilon_1$ , то предельный параметр  $\varepsilon_{bt,ul}$  (характеризующий разрушение бетона от отрыва) является переменным. Последнее вытекает из анализа накопленных экспериментов [1].

Для сложного сопротивления в качестве критерия прочности предложен критерий [1].

$$\varepsilon_i \leq \varepsilon_{bu}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon_i$  – интенсивность деформаций укорочения бетона, связанная с октаэдрическими сдвигами.

В области напряженных состояний двухосного сжатия, кроме критерия разрушения IV [3], ранее может сработать ограничение, связанное с исчерпанием поперечных деформаций, реализуемое в виде отрыва («среза») и последующего выкола бетона:

$$\varepsilon_3 \leq \varepsilon_{bt,ul}, \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{bt,ul}$  – предельные деформации бетона растяжению; для области двухосного сжатия поперечные деформации в направлении оси  $z$  (направление  $x$  принято вдоль продольной оси стержня, ось  $z$  – направлена вверх) равны  $\varepsilon_{bt,ul} = 0,5\varepsilon_{b,R}$ .

Тогда из диаграмм (рис. 1) могут быть определены  $\varepsilon_{crc,0}$ ,  $\varepsilon_{crc,v}$ ,  $\mu(\lambda)$  и  $E(\lambda)$ .

Применение диаграмм  $\sigma_i - \varepsilon_i$  и  $\mu(\lambda) - \varepsilon_i$  позволяет использовать для бетона отлаженные зависимости механики твердого деформируемого тела.

В задачи прочности железобетонных составных конструкций в пролете «среза» имеет место раздавливание бетона для плоского напряженного состояния (при условиях  $\sigma_1 = \sigma_2$ ,  $\sigma_3 = 0$ ). Здесь возможен срез и отрыв бетона, а также разрушение шва между бетонами.

В первом случае, подставляя эти условия в формулу определения  $\sigma_i$ , получим следующее выражение:

$$\sigma_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = \sigma_1. \quad (3)$$

Когда  $\sigma_i$  достигает своих максимальных значений равных  $R_b$  в соответствии с зависимостью  $\sigma_i - \varepsilon_i$  (см. рис. 1, а), будем иметь:  $\sigma_i = \sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_x = \sigma_y = R_b$ . При этом  $\mu(\lambda) = 0,5$  (см. рис. 1, б).

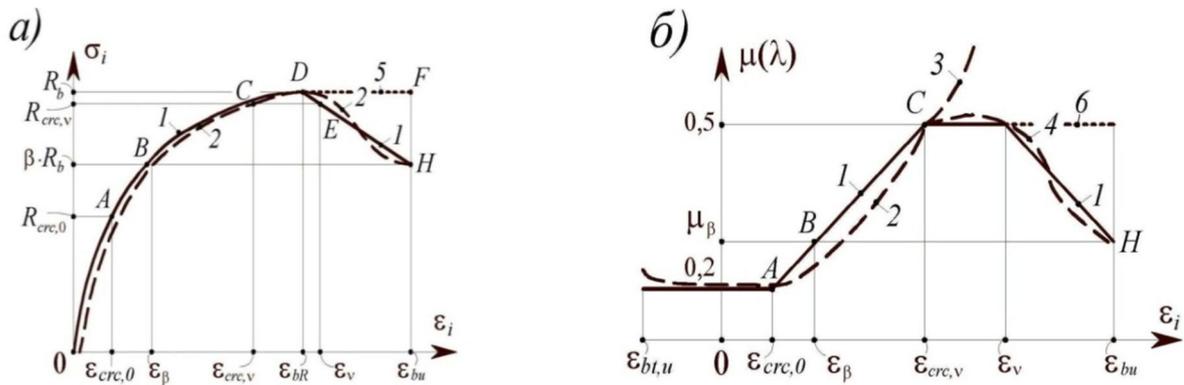


Рисунок 1 – Диаграммы связи «напряжения-деформации» (а) и коэффициент поперечных деформаций (б) для бетона: 1 – расчетные; 2 – построенные по опытным данным; 3 – то же, с учетом магистральных трещин между столбами; 4 – то же, с замером деформаций лишь в пределах столбов; 5; 6 – упрощения для инженерного расчета

Тогда, используя известные формулы механики твердого деформированного тела, получим:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_1 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_2 + \sigma_3)] = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_1 - \mu(\lambda) \cdot \sigma_2); \quad (4)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_2 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_1 + \sigma_3)] = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_2 - \mu(\lambda) \cdot \sigma_1). \quad (5)$$

Учитывая что,  $\sigma_1 = \sigma_2$ , будем иметь:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \frac{\sigma_1}{E(\lambda)} \cdot (1 - \mu(\lambda)). \quad (6)$$

$$\varepsilon_3 = \frac{1}{E(\lambda)} \cdot [\sigma_3 - \mu(\lambda) \cdot (\sigma_1 + \sigma_2)] = -\frac{\mu(\lambda)}{E(\lambda)} \cdot (\sigma_1 + \sigma_2) = -\frac{2\mu(\lambda) \cdot \sigma_1}{E(\lambda)}. \quad (7)$$

Теперь представляется возможным определить интенсивность деформаций  $\varepsilon_i$ :

$$\varepsilon_i = \frac{\sqrt{2}}{3} \cdot \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2}. \quad (8)$$

После этого находим параметр  $E(\lambda)$ :

$$E(\lambda) = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_{i,T}}. \quad (9)$$

Расчет повторяется до тех пор пока заданные значения  $E(\lambda)$  и  $\mu(\lambda)$  не совпадут с вычисленными в рамках принятой погрешности. При этом используется диаграмма механического

состояния (рис. 2, *a*), на которой сжатие принято со знаком плюс, растяжение – со знаком минус. Здесь  $m = \varepsilon_i / \varepsilon_3$ . Это отношение служит основной характеристикой напряженного состояния. Изменяя интенсивность последнего при  $m = const$ , получим на графике луч, выходящий из начала координат и наклоненный к оси  $\varepsilon_3$  под углом  $\alpha$ , тангенс которого равен  $m$ . С помощью этого луча учитывается и ниспадающая ветвь деформирования, что особенно важно для статически неопределимых конструкций.

Проецирование диаграммы  $\sigma_{bi} - \varepsilon_{bi}$  на любые оси, например на оси  $\sigma_x - \varepsilon_x$ , не вызывает затруднений [1].

В качестве примера будем использовать опытные конструкции [4-6], где  $R_b = 12,2 \text{ МПа}$ ,  $E_b = 21000 \text{ МПа}$ .

На первой итерации  $E(\lambda)$  целесообразно принимать равным  $0,85E_b$ . Затем выполняются вычисления по формулам (4)-(9) и сравниваются заданное и полученное значение  $E(\lambda)$ . Процесс повторяется до достижения заданной точности.

Определяем направление луча нагружения на диаграммах механического состояния (рис. 2):  $m = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_3}$  и находим деформацию  $\varepsilon_3$  в точке, обведенной окружностью на рисунке 2, *a*

и т.  $I_R$  на рисунке 2, *b*, соответственно:  $\varepsilon_{3,R} = -0,5\varepsilon_{b,R}$ , параметр  $\varepsilon_{b,R}$  (см. рис. 1, *a*) нормируется в соответствии с [7].

Деформационному разрушению в направлении оси  $i$  соответствует (является эквивалентным) деформационный отрыв в направлении оси 3.

Тогда,  $m_{\varnothing} = \frac{\varepsilon_{i,R}}{\varepsilon_{3,R}} = \frac{\varepsilon_{bR}}{\varepsilon_{3,R}}$ . Рассматривая образовавшиеся треугольники, отсекаемые эквивалентным лучем  $OI$  на диаграмме механического состояния бетона (рис. 2, *a*), будем иметь:

$$\varepsilon_{3,u} = \frac{\varepsilon_{3,R} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{b,R}}.$$

Проецирование ограничения  $\varepsilon_{3,u}$  на ось  $\varepsilon_i$  осуществляется с помощью луча нагружения на диаграмме механического состояния бетона. Для этого рассматривая образовавшиеся треугольники, отсекаемые рабочим лучем  $OA$  на диаграмме механического состояния бетона (см. рис. 2, *a*), будем иметь:  $\varepsilon_{bu,lim} = \frac{\varepsilon_i \cdot \varepsilon_{3,u}}{\varepsilon_3}$ . Записав отношение соответствующих параметров, по-

лучим коэффициент  $k_{\varepsilon,i}$ :  $k_{\varepsilon,i} = \frac{\varepsilon_{bu,lim}}{\varepsilon_{bu}}$ . В итоге представляется возможным получить коэффициент  $k_{\varepsilon,x}$ , используемый в расчетных формулах для определения предельных внутренних усилий в направлении оси  $x$  и  $y$ :

$$\varepsilon_{x,0,ul} = \frac{\varepsilon_x \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_i}; \tag{10}$$

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = \varepsilon_x = \varepsilon_y;$$

$$\varepsilon_{x,0,ul,lim} = \frac{\varepsilon_{x,0,ul} \cdot \varepsilon_{bu,lim}}{\varepsilon_{i,u}} = k_{\varepsilon,i} \cdot \varepsilon_{x,0,ul} = k_{\varepsilon,i} \cdot \varepsilon_{bu} \cdot \frac{\varepsilon_x}{\varepsilon_i}; \tag{11}$$

При этом диаграмма механического состояния бетона показывает (см. рис. 2), что причиной разрушения бетона в пролете «среза» является отрыв бетона (с последующим выкалыванием) в направлении оси  $Z$ , – луч  $OA$  первым достигает границы  $I-N$ , чем границы  $F-I$ .

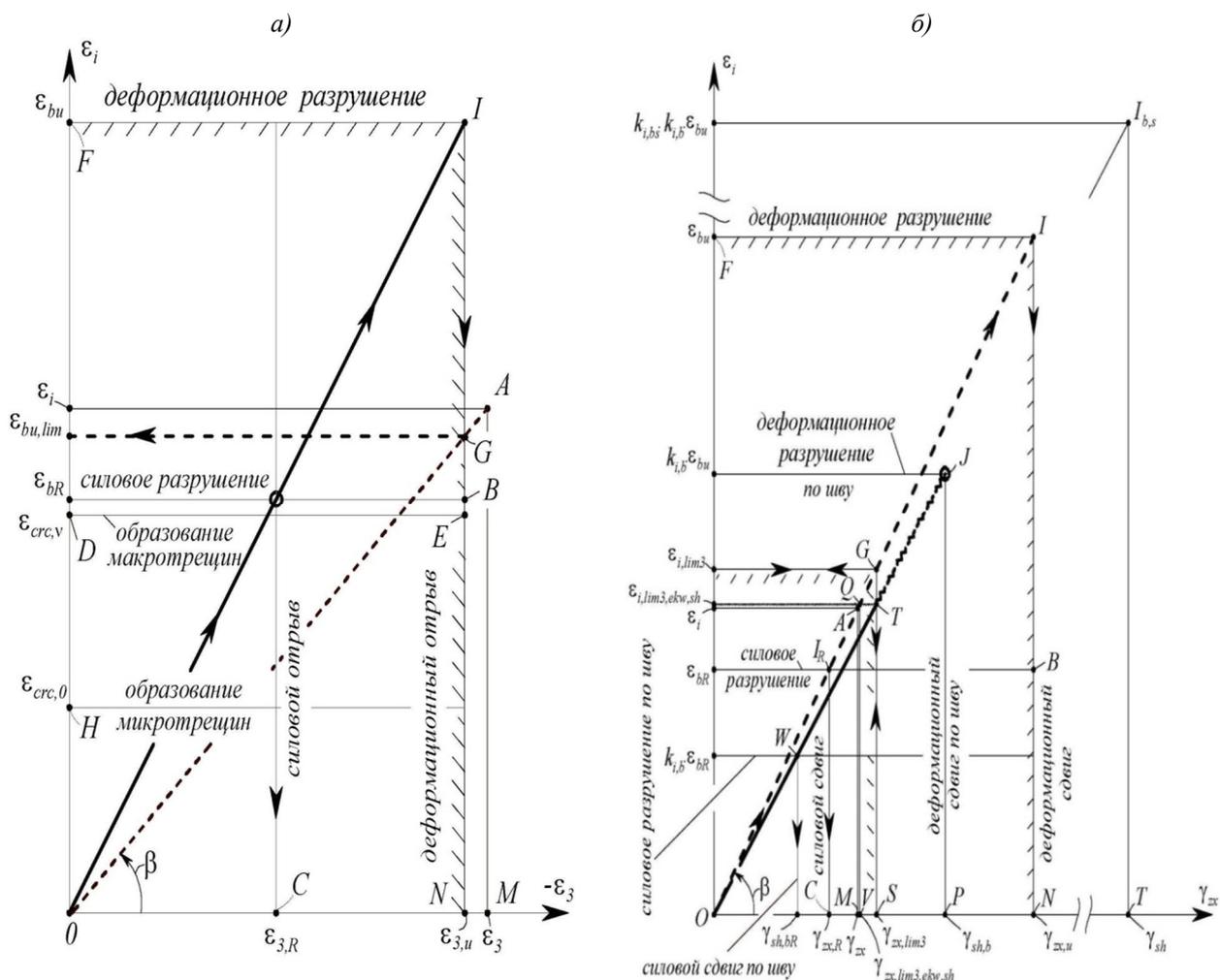


Рисунок 2 – Диаграммы механического состояния в осях  $\varepsilon_1 - (-\varepsilon_3)$  (а) и для оценки возможного вида разрушения монолитного бетона и бетона в шве в осях  $\varepsilon_1 - \gamma_{zx}$  (б)

Для напряженного состояния коэффициент  $k_{\sigma,x}$  иной, чем для деформированного состояния (здесь уже накладываются нелинейные зависимости между деформациями и напряжениями), т.е.  $k_{\sigma,x} \neq k_{\varepsilon,x}$ . Для определения коэффициента  $k_{\sigma,x}$  вначале находим максимальное значение напряжений  $\sigma_x$  из зависимости:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_i}{\varepsilon_{bu,lim}} \cdot \frac{1}{1 - \mu^2(\lambda)} [\varepsilon_{x,0,ul,lim} + \mu(\lambda)\varepsilon_{y,0,ul,lim}]. \quad (12)$$

Тогда  $k_{\sigma,x} = \frac{\sigma_x}{\sigma_i}$  и итерационный процесс можно считать законченным.

Таким образом, выше был рассмотрен случай сопротивления бетона в пролете «среза» при  $\tau_{xy} = 0$ ;  $\sigma_3 = 0$ ;  $\sigma_1 = \sigma_2$ .

Очагом разрушения (очаги разрушения подробно рассмотрены в работе [3]) может стать и контактный шов между бетонами (очаг II). При этом важно оценить предельное сопротивление контактного шва сдвигу только за счет сопротивления бетона, чтобы потом (в случае необходимости) дополнительно вводить в расчет сопротивление шва сдвигу за счет работы арматуры, расположенной перпендикулярно к шву.

Применительно к рассматриваемому случаю, сопротивление шва сдвигу за счет сопротивления бетона,  $R_{sh,b} = 0,388 \text{ МПа}$  [8].

Тогда,

$$\gamma_{sh,b} = \varepsilon_q = \frac{R_{sh,b}}{G(\lambda)} = \frac{R_{sh,b} \cdot 2 \cdot (1 + \mu(\lambda))}{E(\lambda)}. \quad (13)$$

Для оценки соотношения  $\gamma_{sh,b}$  и  $\gamma_{zx}$  можно воспользоваться коэффициентом  $k_{\gamma,sh}$ :  $k_{\gamma,sh} = \frac{\gamma_{sh,b}}{\gamma_{zx}}$ .

Наносим рабочий луч на диаграмму  $\varepsilon_i - \gamma_{zx}$ . Эквивалентного луча для монолитного бетона нет (он появится только для шва), так как сдвиг на площадке нормальной к оси  $x$  не является предельным (критериальным). Критериальными являются деформации октаэдрические  $\varepsilon_i$  и отрывные  $\varepsilon_3$ . Для этого, зная рабочие значения главных деформаций  $\varepsilon_1$ ,  $\varepsilon_2$  и  $\varepsilon_3$ , находим рабочую деформацию сдвига  $\gamma_{zx}$ , используя для этого формулы механики твердого деформируемого тела, применительно к деформациям. При этом рассматриваемую площадку ориентируем в направлении перпендикулярном оси  $x$  (на ней находятся касательные напряжения  $\tau_{zx}$ ):

$$\varepsilon_x = \varepsilon_1 \cdot \cos^2 \alpha_1 + \varepsilon_2 \cdot \cos^2 \alpha_2 + \varepsilon_3 \cdot \cos^2 \alpha_3; \quad (14)$$

$$\frac{1}{2} \gamma_{zx} = \sqrt{\varepsilon_1^2 \cos^2 \alpha_1 + \varepsilon_2^2 \cos^2 \alpha_2 + \varepsilon_3^2 \cos^2 \alpha_3 - \varepsilon_x^2}. \quad (15)$$

Рабочий луч наносим по координатам, например:  $\gamma_{zx} = 0,00013$  – по оси абсцисс и  $\varepsilon_i = 0,001987816$  – по оси ординат.

Теперь, передвигаясь по рабочему лучу до пересечения с горизонталью  $\varepsilon_i = \varepsilon_{bR}$  и после этого опускаясь вниз находим  $\gamma_{zx,R}$ . Аналогично идя по рабочему лучу до пересечения с горизонталью  $\varepsilon_i = \varepsilon_{bu}$  и после этого опускаясь вниз находим  $\gamma_{zx,u}$ :

$$\frac{\gamma_{zx}}{\gamma_{zx,R}} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bR}}; \quad (16)$$

$$\frac{\gamma_{zx}}{\gamma_{zx,u(\varepsilon_i)}} = \frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_{bu}}. \quad (17)$$

Аналогично, перенося соответствующие ограничения с оси  $\varepsilon_3$ , на ось  $\varepsilon_i$  получим:

$$\frac{\varepsilon_i}{\varepsilon_3} = \frac{\varepsilon_{i,\lim 3}}{\varepsilon_{0,ul}}. \quad (18)$$

Переносим соответствующие ограничения с оси  $\varepsilon_i$ , на ось  $\gamma_{zx}$  получим:

$$\frac{\varepsilon_{i,\lim 3}}{\varepsilon_{bu}} = \frac{\gamma_{zx,\lim 3}}{\gamma_{zx,u(\varepsilon_i)}}. \quad (19)$$

Теперь предоставляется возможным сравнить полученное ограничение с  $\gamma_{sh,b}$ . Для этого наносим на диаграмму  $\gamma_{sh,b} = 0,000210374$ , вычисленную для используемого примера по формуле (13), и, отмечая  $k_{i,b} \cdot \varepsilon_{bu}$  (где  $k_{i,b}$ , в первом приближении, равняется 0,65), строим эквивалентный луч по предельной точке, соответствующей деформационному разрушению по шву.

Здесь также имеет место дополнительное ограничение по вертикали, обусловленное тем, что эквивалентный луч упирается в ограничение  $\gamma_{zx,\lim 3}$  по горизонтали. Оно определяется из соотношения, вытекающего из подобия треугольников  $OTS$  и  $OJP$  (см. рис. 2, б):

$$\frac{\varepsilon_{i,\lim 3,ekw,sh}}{\gamma_{zx,\lim 3}} = \frac{k_{i,b} \cdot \varepsilon_{bu}}{\gamma_{sh,b}}, \quad (20)$$

где  $\gamma_{zx,\lim 3} = \gamma_{zx,\lim 3,ekw,sh}$ .

Теперь если отталкиваться от новой границы  $\varepsilon_{i,\lim 3,ekw,sh}$ , то по аналогии с коэффициентом  $k_{\varepsilon,x}$  можно получить также коэффициенты  $k_{\varepsilon_i,\lim 3,ekw,sh}$  и  $k_{\varepsilon(x),sh}$ .

Для этого сначала используем соотношение, вытекающее из подобия треугольников *OAM* и *OQV* (см. рис. 2, б):

$$k_{\varepsilon_i,\lim 3,ekw,sh} = \frac{\varepsilon_{i,\lim 3,ekw,sh}}{\varepsilon_i} = \frac{\varepsilon_{x,\lim 3,ekw,sh}}{\varepsilon_x}. \quad (21)$$

Тогда коэффициент  $k_{\varepsilon_i,sh}$  будет равен:  $k_{\varepsilon_i,sh} = \frac{\varepsilon_{i,\lim 3,ekw,sh}}{\varepsilon_{i,u}}$ .

Из зависимости (19) также следует:  $\varepsilon_{x,\lim 3,ekw,sh} = \varepsilon_x \cdot k_{\varepsilon_i,\lim 3,ekw,sh}$

Аналогично для направления  $x$  получим коэффициент  $k_{\varepsilon(x),sh}$ :  $k_{\varepsilon(x),sh} = \frac{\varepsilon_{x,\lim 3,ekw,sh}}{\varepsilon_{x,0,ul}}$ .

Таким образом, если например, коэффициент  $k_{\varepsilon(x),sh} = 0,448$  оказался меньшим, чем коэффициент  $k_{\varepsilon,x} = 0,499$ , то это говорит о необходимости введения поперечного армирования (перпендикулярно к шву) и его учета в сопротивлении шва. Сдвиговые деформации  $\gamma_{sh}$  с учетом поперечного по отношению к шву армирования определяются по формуле:

$$\gamma_{sh} = \varepsilon_q = \frac{R_{sh}}{G(\lambda)} = \frac{R_{sh} \cdot 2 \cdot (1 + \mu(\lambda))}{E(\lambda)}. \quad (22)$$

Полученная деформация наносится на эквивалентный луч диаграммы  $\varepsilon_i - \gamma_{zx}$  с учетом того, что на оси  $\varepsilon_i$  ей будет соответствовать точка  $k_{i,bs} \cdot k_{i,b} \cdot \varepsilon_{bu}$  (где  $k_{i,bs} = \frac{\gamma_{sh}}{\gamma_{sh,b}} = 6,574$ ). Из диаграммы видно (см. рис. 1), что эта точка значительно превосходит не только границы  $\varepsilon_{i,\lim 3,ekw,sh}$  и  $\varepsilon_{i,\lim 3}$ , но и  $\varepsilon_{bu}$ , что говорит об обеспеченности надежного сопротивления шва.

Далее возможна также проверка ограничений (*lim*) не только по критерию  $\varepsilon_i$ , но и по критерию  $\varepsilon_3$  и т.п., – в этом и проявляется основа и физический смысл использования объединенной диаграммы механического состояния.

Применительно к критериям  $\varepsilon_3$  и  $\gamma_{zx}$ , строим диаграмму механического состояния бетона в осях  $\varepsilon_3 - \gamma_{zx}$  (рис. 3). Наносим на нее рабочий луч  $\varepsilon_3 = 0,001987816$  по оси ординат,  $\gamma_{zx} = 0,000131$  – по оси абсцисс для рабочего луча.

В месте пересечения рабочего луча с горизонталью равной  $\varepsilon_{3,R} = \varepsilon_{bt,ul}$  и опускаясь с точки пересечения затем вниз находим  $\gamma_{zx,R(\varepsilon_3)}$ . Аналогично идя по рабочему лучу до пересечения с горизонталью  $\varepsilon_{0,ul} = \varepsilon_{3,u} = \varepsilon_{3,\lim}$  и после этого опускаясь вниз находим  $\gamma_{zx,u}$ :  $\varepsilon_{bt,ul} = 0,000794999$ ,  $\varepsilon_{0,ul} = 0,002204997$ .

Теперь представляется возможным для оценки (сравнения) лимитных состояний отобразить ограничение  $\varepsilon_{3,\lim}$  на ось  $\gamma_{sh}$  (*lim*). При выполнении заданных действий, получим  $\gamma_{zx,u(\varepsilon_3)} = 0,000145313$ . Сравнивая его со значением  $\gamma_{zx,u(\varepsilon_i)} = 0,000290625$  и с  $\gamma_{zx,sh,b} = 0,000210374$  видно, что наименьшим из них является  $\gamma_{zx,u(\varepsilon_3)}$ . Затем идет значение  $\gamma_{zx,sh,b}$ , и только затем  $\gamma_{zx,u(\varepsilon_i)}$ . Таким образом, нет смысла усиливать сопротивление шва сдвигу за счет введения дополнительных арматурных стержней по расчету (кроме конструктивных) и тем более нет смысла в конструировании шпонок в этом шве, так как разрушение произойдет по причине отрыва бетона в направлении оси  $\varepsilon_3$  с последующим выколом. Из этого расчета видно

на сколько эффективно можно управлять процессом конструирования сборно-монолитных соединений не снижая их надежности и в то же время не перерасходуя дорогостоящую арматуру.

Проанализированный коэффициент  $k_{x,\varepsilon_3}$ , ограничивает продольные деформации бетона из-за отрывных деформаций в шве между бетонами приводящие к возможному разрушению шва не только от сдвига, как уже было рассмотрено выше, но и от отрыва, рассмотренного в расчетной схеме работы [3].

Рабочий луч на диаграмму « $\varepsilon_3 - \gamma_{zx}$ » наносится по координатам:  $\gamma_{zx} = 0,000131$  – по оси абсцисс и  $\varepsilon_3 = -0,001987816$  – по оси ординат. Параметр  $\gamma_{zx,R3}$  отличается от параметра  $\gamma_{zx,R}$  – поэтому и строится эта диаграмма для проверки таких отличий, – или же без нее можно обойтись (см. рис. 3). Казалось бы, и параметр  $\gamma_{zx,u3}$  то же должен был бы отличаться от параметра  $\gamma_{zx,u}$ , но эти параметры совпадают:  $\gamma_{zx,u3} = 0,00014528 = \gamma_{zx,lim3} = 0,000145$ .

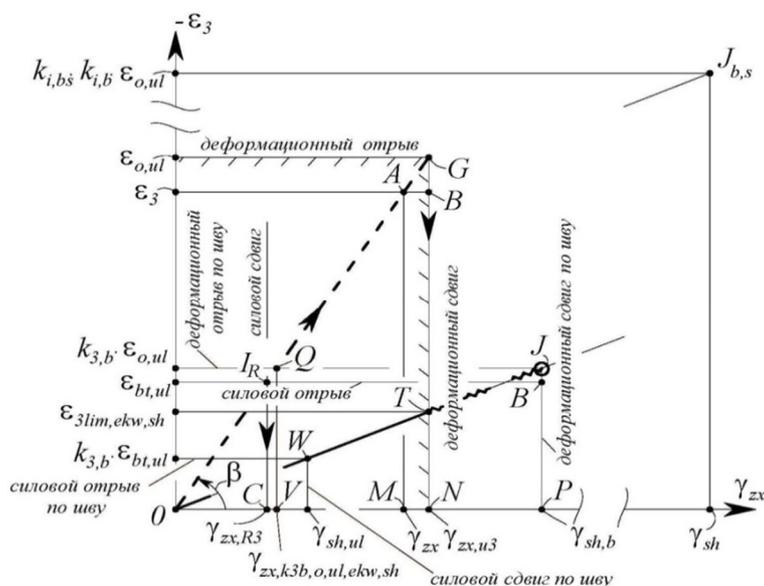


Рисунок 3 – Диаграмма механического состояния в осях  $\varepsilon_3 - \gamma_{zx}$  для оценки возможного вида разрушения монолитного бетона и бетона в шве

Теперь, двигаясь по рабочему лучу до пересечения с горизонталью  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{bt,ul}$  и после этого опускаясь вниз из подобия треугольников OAM и OGN находим  $\gamma_{zx,u3}$  (см. рис. 3):

$$\frac{\varepsilon_3}{\gamma_{zx}} = \frac{\varepsilon_{0,ul}}{\gamma_{zx,u3}} \quad (23)$$

После подстановки числовых значений будем иметь:

$$\gamma_{zx,u3} = \frac{\varepsilon_{0,ul} \cdot \gamma_{zx}}{\varepsilon_3} = \frac{-0,002204997 \cdot 0,000131}{-0,001987816} = 0,00014528.$$

Аналогично, идя по рабочему лучу до пересечения с горизонталью  $\varepsilon_3 = \varepsilon_{0,ul}$ , и после этого, опускаясь вниз из подобия треугольников OI<sub>R</sub>C и OGN находим  $\gamma_{zx,R3}$ :

$$\frac{\varepsilon_{bt,ul}}{\gamma_{zx,R3}} = \frac{\varepsilon_3}{\gamma_{zx}} \quad (24)$$

После подстановки числовых значений, получим:

$$\gamma_{zx,R3} = \frac{\varepsilon_{bt,ul} \cdot \gamma_{zx}}{\varepsilon_3} = \frac{-0,000794999 \cdot 0,000131}{-0,001987816} = 0,000052.$$

Далее наносится на диаграмму « $\varepsilon_3 - \gamma_{zx}$ » значение  $\gamma_{sh,b} = 0,000210374$  и  $k_{3,b} \cdot \varepsilon_{o,ul}$  (где  $k_{3,b}$ , в первом приближении, равняется 0,4). Строится эквивалентный луч по предельной точке (деформационное разрушение по шву).

Дополнительное ограничение по вертикали обусловлено тем, что эквивалентный луч упирается в ограничение  $\gamma_{zx,u3}$  по горизонтали.

Тогда, из подобия треугольников OTN и OJP имеем:

$$\frac{\varepsilon_{3,lim,ekw,sh}}{\gamma_{zx,u3}} = \frac{k_{3,b} \cdot \varepsilon_{o,ul}}{\gamma_{sh,b}} \quad (25)$$

После подстановки числовых значений, будем иметь:

$$\varepsilon_{3,lim,ekw,sh} = \frac{k_{3,b} \cdot \varepsilon_{o,ul} \cdot \gamma_{zx,u3}}{\gamma_{sh,b}} = \frac{0,4 \cdot -0,002204997 \cdot 0,00014528}{0,000210374} = -0,000609.$$

Теперь, если оттолкнуться от новой границы  $\varepsilon_{3,lim,ekw,sh}$ , то аналогично с вычислениями коэффициентов  $k_{\varepsilon,i}$ ,  $k_{\varepsilon,x}$ , можно получить коэффициенты  $k_{3,lim,ekw,sh}$  и  $k_{\varepsilon(x),sh,\varepsilon3}$ . Для этого сначала используем соотношение, вытекающее из подобия треугольников OAM и OQV (см. рис. 2, б):

$$k_{3,lim,ekw,sh} = \frac{\varepsilon_{3,lim,ekw,sh}}{\varepsilon_3} = \frac{\varepsilon_{x,3,lim,ekw,sh}}{\varepsilon_x} \quad (26)$$

После подстановки числовых значений, будем иметь:

$$k_{3,lim,ekw,sh} = \frac{\varepsilon_{3,lim,ekw,sh}}{\varepsilon_3} = \frac{-0,000609}{-0,001987816} = 0,306412.$$

Из зависимости (26) следует:

$$\varepsilon_{x,3,lim,ekw,sh} = \varepsilon_x \cdot k_{3,lim,ekw,sh} = 0,000992408 \cdot 0,306412 = 0,000304.$$

Аналогично для направления  $x$  получим коэффициент  $k_{\varepsilon(x),sh,\varepsilon3}$ . Для этого осуществим переход к  $i$ -ому направлению: (в результате чего предоставляется возможность сравнения с предыдущими коэффициентами  $k_{\varepsilon,i}$ ,  $k_{\varepsilon,x}$ ).

$$\frac{\varepsilon_{i,lim3,ekw,sh}}{\varepsilon_i} = \frac{\varepsilon_{3,lim,ekw,sh}}{\varepsilon_3} \quad (27)$$

После подстановки числовых значений, будем иметь:

$$\varepsilon_{i,lim3,ekw,sh} = \frac{\varepsilon_{3,lim,ekw,sh} \cdot \varepsilon_i}{\varepsilon_3} = \frac{-0,000609 \cdot 0,001987816}{-0,001987816} = 0,000609.$$

Тогда,

$$k_{\varepsilon3,sh} = \frac{\varepsilon_{i,lim3,ekw,sh}}{\varepsilon_{bu}} = \frac{0,000609}{0,00441} = 0,138 \text{ и } k_{\varepsilon(x),sh,\varepsilon3} = \frac{\varepsilon_{x,3,lim,ekw,sh}}{\varepsilon_{x,o,ul}} = \frac{-0,000304}{-0,002201672} = 0,138.$$

Равенство коэффициентов  $k_{\varepsilon3,sh}$  и  $k_{\varepsilon(x),sh,\varepsilon3}$  указывает на то, что здесь имеет место простое нагружение.

Таким образом,  $k_{\varepsilon(x),sh,\varepsilon3} = 0,138116$  оказался меньшим, чем коэффициент  $k_{\varepsilon,x} = 0,499$ , что говорит о необходимости введения поперечного армирования (перпендикулярно к шву) и его учета в сопротивлении шва.

Полученное значение деформации наносится на эквивалентный луч диаграммы  $\varepsilon_3 - \gamma_{zx}$  с учетом того, что на оси  $\varepsilon_3$  ей будет соответствовать точка  $k_{3,bs} \cdot k_{3,b} \cdot \varepsilon_{bu}$ , где  $k_{3,bs} = \frac{\gamma_{sh}}{\gamma_{sh,b}} = 6,574$ .

Для сопоставления с рассчитанными коэффициентами  $k_{\varepsilon,i}$ ,  $k_{\varepsilon,x}$  осуществляется переход к  $i$ -ому:

$$\frac{k_{3i,bs} \cdot k_{3i,b} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_i} = \frac{k_{3,bs} \cdot k_{3,b} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_3} \quad (28)$$

Отсюда, после подстановки числовых значений, будем иметь:

$$k_{3i,bs} \cdot k_{3i,b} \cdot \varepsilon_{bu} = \frac{k_{3,bs} \cdot k_{3,b} \cdot \varepsilon_{bu} \cdot \varepsilon_i}{\varepsilon_3} = \frac{6,574 \cdot 0,4 \cdot 0,00441 \cdot 0,001987816}{-0,001987816} = -0,011597.$$

Тогда, коэффициент  $k_{\varepsilon_{i,3,ul,sh}}$  отыскивается из отношения:

$$k_{\varepsilon_{i,3,ul,sh}} = \frac{k_{3i,bs} \cdot k_{3i,b} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{bu}} = \frac{-0,011597}{0,00441} = -2,6296.$$

Для сравнения с аналогичным коэффициентом  $k_{\varepsilon_{i,R,sh}}$ , вытекающим из диаграммы  $\varepsilon_i - \gamma_{zx}$ , получим этот коэффициент из отношения:

$$k_{\varepsilon_{i,R,sh}} = \frac{k_{i,bs} \cdot k_{i,b} \cdot \varepsilon_{bu}}{\varepsilon_{bu}} = \frac{6,574 \cdot 0,65 \cdot 0,00441}{0,00441} = 4,2731.$$

Таким образом, из рисунка 2, б следует, что точка  $k_{i,bs} \cdot k_{i,b} \cdot \varepsilon_{bu}$  на оси  $i$  диаграммы  $\varepsilon_i - \gamma_{zx}$  значительно превосходит не только границы деформаций  $\varepsilon_{i,lim3,ekw,sh}$  и  $\varepsilon_{i,lim3}$ , но и предельных деформаций  $\varepsilon_{bu}$ , что говорит об обеспеченности надежного сопротивления шва.

В итоге, обеспечивается обоснованная возможность рационального армирования шва.

Во-первых, благодаря проведенному анализу, становится ясным, что разрушение шва произойдет от отрыва бетона в направлении оси  $z$  при коэффициенте  $k_{\varepsilon} = 0,499$ .

Во-вторых, если бы арматура, перпендикулярная к шву, отсутствовала, то разрушение произошло бы по шву из-за отрывных деформаций (учет сопротивления такой арматуры позволил повысить сопротивление шва сдвиговым деформациям в 4,2731 раза по сравнению с предельным сопротивлением  $\varepsilon_i = \varepsilon_{bu}$ ; и только в 2,6296 раза позволил повысить сопротивление шва отрывным деформациям по сравнению с предельным сопротивлением  $\varepsilon_i = \varepsilon_{bu}$ ). На основе этих данных, становится ясно, что предлагаемая методика предоставляет возможность расчетного уменьшения количества арматуры, перпендикулярной к шву до тех пор, пока коэффициент  $k_{\varepsilon_{i,3,ul,sh}}$  не снизится от значения 2,6296 до единицы.

В-третьих, с точки зрения рационального конструирования возникает необходимость в дополнительном армировании шва в направлении оси  $Z$  с тем, чтобы увеличить коэффициент  $k_{\varepsilon}$  со значения 0,499 до единицы (при этом дополнительные арматурные стержни должны иметь длину, выходящую на величину  $l_{an}$  в обе стороны от шва по вертикали).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, В.М. Расчетные модели силового сопротивления железобетона [Текст]: монография / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов. – М.: АСВ, 2004. – 472 с.
2. Гениев, Г.А. Теория пластичности бетона и железобетона [Текст] / Г.А. Гениев, В.Н. Киссюк, Г.А. Тюпин. – М.: Стройиздат, 1974. – 316 с.
3. Ключева, Н.В. Прочность железобетонных составных конструкций и новые критерии разрушения в зоне наклонных трещин [Текст] / Н.В. Ключева, К.М. Чернов, В.И. Колчунов, И.А. Яковенко // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №11. – С. 36-40.
4. Баширов, Х.З. Методика экспериментальных исследований прочности, жесткости и трещиностойкости железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям [Текст] / Х.З. Баширов, И.С. Горностаев, А.А. Дородных, К.М. Чернов // Промышленное и гражданское строительство, 2013. – №5. – С. 18-21.
5. Баширов, Х.З. Экспериментальные исследования прочности железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям [Текст] / Х.З. Баширов, А.М. Крыгина, К.М. Чернов // Строительные материалы. – 2013. – №6. – С. 32-36.
6. Баширов, Х.З. Основные результаты экспериментальных исследований ширины раскрытия трещин железобетонных составных конструкций по наклонным сечениям [Текст] / Х.З. Баширов, Н.В. Ключева, А.А. До-

родных // Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. – Воронеж, 2013. – №2 (30). – С. 18-26.

7. Методические рекомендации по уточненному расчету железобетонных элементов с учетом полной диаграммы сжатия бетона [Текст] / НИИСК Госстроя СССР. – К., 1987. – 25 с.

8. Гольшев, А.Б. Расчет и технические решения усиления железобетонных конструкций производственных зданий и просадочных оснований [Текст] / А.Б. Гольшев, П.И. Кривошеев, П.М. Козелецкий. – К.: Логос, 2008. – 304 с.

**Чернов К.М.**

Юго-Западный государственный университета, г. Курск  
Аспирант

K. CHERNOV

## THE APPLICATION OF THE JOINT STRENGTH THEORY FOR REINFORCED CONCRETE COMPOSITE STRUCTURES IN THE SPAN OF THE SLICE

*In the problem of reinforced concrete composite constructions durability of oblique sections revealed new foci of destruction in the span «section»: from the loss of adhesion; from the destruction of the joint; from the bottom of the crack; crushing of concrete; from the top of the crack, gouging of concrete. To generalize the newly identified fracture centers, drawing on the chart connection between the intensity of the stress and strain rate and the coefficient of transverse deformation and strain rate, working prerequisites were built for the development of a unified theory of the concrete strength, involving octahedral and principal strains. This theory is based on the current understanding of the concrete resistance with falling branch deformation. Thanks to them, the analysis of the rational reinforcement seam between the concrete with and without shear reinforcement, which will increase the resistance of the weld shear deformations in 4.27 once compared with the limiting resistance  $\varepsilon_i = \varepsilon_{bu}$ ; and only in 2.63 once – detachable deformations compared to their limiting resistance.*

**Keywords:** implementation of unified strength theory, the beam loading state diagram, the axis of deformation, reinforced composite constructions, strength calculation model, the inclined cracks of various kinds, resistance seam shear deformations, new foci of destruction.

### BIBLIOGRAPHY

1. Bondarenko, V.M. Raschetnye modeli silovogo soprotivlenija zhelezobetona [Текст]: monografija / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov. – М.: ASV, 2004. – 472 с.
2. Geniev, G.A. Teorija plastichnosti betona i zhelezobetona [Текст] / G.A. Geniev, V.N. Kissjuk, G.A. Tjupin. – М.: Strojizdat, 1974. – 316 с.
3. Kljueva, N.V. Prochnost' zhelezobetonyh sostavnyh konstrukcij i novye kriterii razrushenija v zone naklonnyh treshhin [Текст] / N.V. Kljueva, K.M. Chernov, V.I. Kolchunov, I.A. Jakovenko // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – №11. – С. 36-40.
4. Bashirov, H.Z. Metodika jeksperimental'nyh issledovanij prochnosti, zhestkosti i treshhinostojkosti zhelezobetonyh sostavnyh konstrukcij po naklonnym sechenijam [Текст] / H.Z. Bashirov, I.S. Gornostaev, A.A. Dorodnyh, K.M. Chernov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2013. – №5. – С. 18-21.
5. Bashirov, H.Z. Jeksperimental'nye issledovanija prochnosti zhelezobetonyh sostavnyh konstrukcij po naklonnym sechenijam [Текст] / H.Z. Bashirov, A.M. Krygina, K.M. Chernov // Stroitel'nye materialy. – 2013. – №6. – С. 32-36.
6. Bashirov, H.Z. Osnovnye rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij shiriny raskrytija treshhin zhelezobetonyh sostavnyh konstrukcij po naklonnym sechenijam [Текст] / H.Z. Bashirov, N.V. Kljueva, A.A. Dorodnyh // Nauchnyj vesnik Voronezhskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – Voronezh, 2013. – №2 (30). – С. 18-26.
7. Metodicheskie rekomendacii po utocnennomu raschetu zhelezobetonyh jelementov s uchedom polnoj diagrammy szhatija betona [Текст] / NIISK Gosstroja SSSR. – К., 1987. – 25 с.
8. Golyshev, A.B. Raschet i tehicheskie reshenija usilenij zhelezobetonyh konstrukcij proizvodstvennyh zdaniij i prosadochnykh osnovanij [Текст] / A.B. Golyshev, P.I. Krivosheev, P.M. Kozeleckij. – К.: Logos, 2008. – 304 с.

**K. Chernov**

Southwest state university, Kursk  
Graduate

ШТУНЦАЙГЕР И.Е., ДЕНИСОВ А.С., ЛЫСОВ Д.А.,  
КУГАЧЕВ А.И., СЛОБОДЕНЮК А.О.

## ПРАКТИЧЕСКИЙ ОПЫТ УСТРОЙСТВА СТАЦИОНАРНЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОЛИМПИЙСКИХ ОБЪЕКТАХ В ГОРОДЕ СОЧИ

*В статье рассматривается опыт оснащения олимпийских объектов Сочи-2014 стационарными автоматизированными системами мониторинга конструкций на примере таких объектов, как Ледовый дворец «Большой» и Санно-бобслейная трасса «Санки». Проведен выбор наиболее ответственных несущих конструкций, контролируемых при мониторинге. Выбраны контролируемые параметры, подобраны соответствующие датчики и измерительные системы. Для случаев, когда на объекте ведется геотехнический мониторинг с применением датчиков и измерительного оборудования обосновывается целесообразность подключения таких датчиков к стационарной системе мониторинга конструкций. По результатам практического опыта устройства и эксплуатации автоматизированных систем мониторинга механической безопасности можно сделать вывод о высокой надежности и оперативности получения достоверной информации о текущем техническом состоянии несущих конструкций на протяжении всего жизненного цикла объекта.*

**Ключевые слова:** система, мониторинга, конструкций, СМК, СММК.

Строительство Олимпийских объектов в г. Сочи показало мировой общественности широкие возможности отечественного строительного комплекса и Российской Федерации в целом в реализации крупномасштабных, технически сложных проектов на современном качественном уровне. Учитывая особенности расположения г. Сочи и сложные инженерно-геологические условия площадок строительства, при проектировании Олимпийских объектов повышенное внимание было уделено соблюдению требований федерального закона ФЗ №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений». Особо остро были поставлены вопросы обеспечения механической безопасности спортивных сооружений при их эксплуатации. В связи с необходимостью оперативно получать достоверную информацию о текущем техническом состоянии спортивных объектов был предложен вариант установки специальных стационарных автоматизированных станций мониторинга технического состояния конструкций, которые обеспечивают непрерывный мониторинг несущих конструкций в соответствии с требованиями ГОСТ Р 31937-2011.

К началу проведения проектных работ по Олимпийским объектам в нашей стране уже был накоплен определенный опыт применения систем мониторинга конструкций (СМК / СММК) для высотных и уникальных зданий и сооружений; такими системами оснащены Крытый конькобежный центр в Крылатском и большинство объектов Москва-Сити.

Накопленный опыт позволил разработать методическую основу проектирования автоматизированных стационарных систем мониторинга для Олимпийских спортивных сооружений и создать унифицированную аппаратно-программную базу для применения специализированных аппаратно-программных модулей контроля отдельных технических параметров, в том числе интегральных, несущих строительных конструкций.

По прошествии удачно проведенных нашей сборной командой Олимпийских игр, по результатам которых наша страна была удостоена высоких оценок за организацию и проведение Олимпиады, видится целесообразным с практической точки зрения рассмотреть комплексные решения по обеспечению механической безопасности на примере конкретных объектов: Ледовый дворец «Большой» и Санно-бобслейная трасса «Санки».

Системы мониторинга строительных конструкций, описываемые в данной статье, были спроектированы и установлены при участии ряда организаций: ООО НПО «СОДИС», ГУП МНИИТЭП, ЗАО НПО «ГПИКО», ООО СНТП «Профинж» и др.

Одним из первых Олимпийских объектов, где была развернута система мониторинга конструкций, стал ледовый дворец «Большой» для хоккея с шайбой, рассчитанный на 12 тыс. зрителей.

В качестве наиболее ответственных конструкций, контролируемых при мониторинге, выбраны: фундаментная плита, конструкции покрытия основной арены, конструкции покрытия тренировочной арены.

Для этих конструкций были назначены следующие контролируемые параметры: крены фундаментной плиты, пространственное положение покрытия, температура и атмосферное давление, динамические характеристики покрытия.

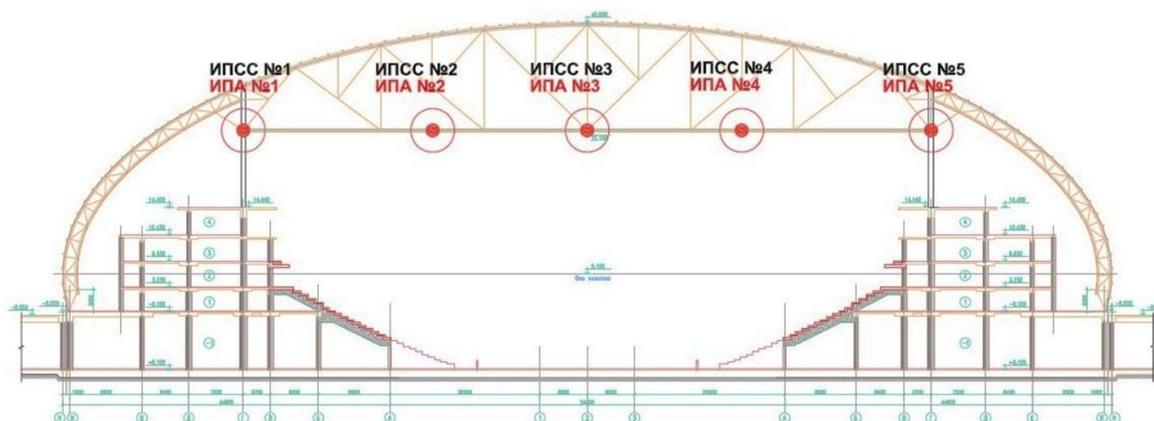
Контроль кренов фундаментной плиты осуществляется с помощью наклономеров, которые установлены в каждой секции объекта отделенной деформационными швами.



*Рисунок 1 – Ледовый дворец «Большой», г. Сочи*

Пространственное положение конструкций покрытия основной арены определяется с помощью двух высокоточных роботизированных тахеометров Leica. Тахеометры в автоматическом режиме по заданному расписанию «простреливают» контролируемые точки, где установлены отражающие минипризмы, и определяют пространственные координаты для каждой точки. По базовым точкам, расположенным на железобетонных конструкциях трибун, осуществляется привязка геодезических измерений в единую систему координат. Так как на ледовой арене установлен особый температурный режим, особенно актуально рассчитывать поправки геодезических измерений с учетом разницы температур и давлений. Такие поправки рассчитываются автоматически с учетом измерений, фиксируемых с помощью метеодатчиков.

Так же на объекте, для контроля конструкций покрытия установлены акселерометры и инженерно-сейсмометрическая станция.



*Рисунок 2 – Места установки датчиков инженерно-сейсмометрической станции на разрезе*

Аппаратура для измерения вибраций, установленная на несущих элементах строительных конструкций покрытия, а также сейсмометры, установленные в теле грунтового массива, аппаратура и оборудование помещения узла регистрации и связи, каналы связи, представляют в целом станцию динамического и сейсмического мониторинга. Данная станция предназначена для выполнения 2-х функций:

1. Динамический мониторинг состояния несущих конструкций здания.
2. Регистрация землетрясений и динамическая реакция строительных конструкций здания.

В первом случае периодически регистрируются собственные колебания основных несущих конструкций здания. Во втором случае сейсмометрическая станция постоянно работает в ждущем режиме. Запускающие датчики установлены в теле грунтового массива и должны срабатывать при пиковых значениях ускорений (соответствующих примерно землетрясению в 4 балла). При этом включаются все измерительные приборы комплекса и работают в системе записи.

СНТП «Профинж» совместно со специалистами ГУП МНИИТЭП разработали акселерометр ЦТА-СМ-ИС, который обладает расширенным измерительным диапазоном. Это позволяет в каждом измерительном пункте устанавливать только один акселерометр, который решает обе задачи: регистрацию измерений при динамическом мониторинге и регистрацию сейсмических событий, и ответную реакцию конструкций.

Мониторинг конструкций в автоматическом режиме осуществляется постоянно. Результаты автоматического мониторинга поступают на автоматизированное рабочее место системы мониторинга. В случае выявления негативных изменений по результатам автоматического мониторинга, эксплуатационная служба объекта с привлечением специализированной организации, устанавливает причины возникновения негативных тенденций, выдает рекомендации по проведению обследования и рекомендации по устранению дефектов для дальнейшей эксплуатации объекта. Во время землетрясения в декабре 2012 г. датчики системы мониторинга конструкций, зафиксировали событие и позволили зарегистрировать данные для последующего анализа [2].

Отдельными вопросами при проектировании систем мониторинга конструкций стала необходимость проведения геотехнического мониторинга с применением датчиков и измерительных систем. Систему мониторинга, включающую контроль параметров основания и конструкций фундамента, целесообразно разрабатывать с таким учетом, чтобы с ее помощью можно было осуществлять периодический съем информации в ручном режиме в процессе строительства, а в период эксплуатации спортивного сооружения предусматривать техническую возможность подключения датчиков к автоматизированной стационарной системе мониторинга конструкций, что позволит контролировать состояние основания объекта в течении всего срока его эксплуатации в автоматизированном режиме.

Например, при возведении другого олимпийского объекта, Санно-бобслейной трассы «Санки», измерительное оборудование начали устанавливать еще в ходе строительства. В рамках мероприятий по геотехническому мониторингу, помимо геодезических наблюдений за склоном, были установлены инклинометрические датчики в скважинах для контроля послойного смещения грунтового массива. В последующем измерительная подсистема инклинометрических скважин была включена в систему мониторинга конструкций объекта.

В качестве наиболее ответственных конструкций, контролируемых при мониторинге, были выбраны: железобетонные конструкции желоба трассы, подпорные стены.

Для выбранных строительных конструкций контролируются следующие параметры: крены подпорных стен, послойные смещения в грунтовом массиве, стыки между железобетонными секциями желоба трассы.

Для контроля крена подпорных стен на конструкцию стены установлены наклонометры. Для контроля послойных смещений в грунтовом массиве на наиболее опасных потенциально оползневых участках установлены инклинометрические скважины. Для контроля стыков между секциями железобетонного желоба трассы установлены трещиномеры.

По результатам практического опыта устройства и эксплуатации автоматизированных систем мониторинга механической безопасности можно сделать вывод о высокой надежности

и оперативности получения достоверной информации о текущем техническом состоянии несущих конструкций на протяжении всего жизненного цикла объекта.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дорофеев, В.М. Вопросы безопасности эксплуатации спортивных сооружений с большепролетными конструкциями [Текст] / В.М. Дорофеев // Строительство и недвижимость. – М., 2007. – №22. – С. 20-23.
2. Стадионы в Сочи готовы к любым ситуациям, 6 февраля 2014: <http://www.arhinovosti.ru/2014/02/06/stadiony-v-sochi-gotovy-k-lyubym-situaciyam>.
3. Пособие. По контролю технического состояния зданий с большепролетными конструкциями в городе Москве с использованием современных автоматизированных технических средств, в том числе передвижных автоматизированных станций [Текст]: отчет о НИР / В.В. Гурьев, В.М. Дорофеев и др. – М., ГУП МНИИТЭП, 2012. – 105 с.
4. Дорофеев, В.М. Особенности проектирования автоматизированных стационарных систем мониторинга технического состояния несущих конструкций большепролетных спортивных сооружений Олимпиады 2014 в городе Сочи [Текст] / В.М. Дорофеев, Д.А. Лысов, А.С. Денисов // Промышленное и гражданское строительство. – М., 2011. – №12. – С.46-48.

#### **Штунцайгер Илья Ефимович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Заместитель заведующего лабораторией  
Тел.: +7 (915) 038-3234  
E-mail: i.stunts@yandex.ru

#### **Лысов Дмитрий Анатольевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Кандидат технических наук, заведующий лабораторией  
Тел.: +7 (495) 482-4076

#### **Денисов Александр Сергеевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Заместитель заведующего лабораторией  
Тел.: +7 (495) 482-4076

#### **Слободенюк Андрей Олегович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Заместитель заведующего лабораторией  
Тел.: +7 (495) 482-4076

#### **Кугачев Алексей Игоревич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Аспирант  
Тел.: +7 (495) 482-4076

---

I. STUNTSAIGER, D. LYSOV, A. DENISOV,  
A. SLOBODENYUK, A. KUGACHEV

### **DEVICE PRACTICE OF STATIONARY AUTOMATED MONITORING SYSTEMS OF CONSTRUCTIONS ON THE OLYMPIC SITES IN SOCHI**

*The article describes the experience of equipment Olympic venues Sochi 2014 by stationary automated monitoring systems as an example of such objects as the Ice Palace "Bolshoy" and Bobsleigh track "Sanki". The election of the most crucial bearing structures controlled by the monitoring was obtained. Supervised parameter are selected, the appropriate sensors and measuring systems are chosen.*

*For the cases when geotechnical monitoring with using sensors and measuring equipment is conducted, the expediency of connection of these sensors to the stationary monitoring system designs is proved. By results of the practical experience in design and operation of the automated monitoring systems of mechanical security it can be concluded high reliability and timeliness of obtaining reliable information about the current condition of the load-bearing structures throughout the entire lifecycle.*

**Keywords:** system, monitoring, designs.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Dorofeev, V.M. Voprosy bezopasnosti jekspluatacii sportivnyh sooruzhenij s bol'sheproletnymi konstrukcijami [Tekst] / V.M. Dorofeev // Stroitel'stvo i nedvizhimost'. – M., 2007. – №22. – S. 20-23.
2. Stadiony v Sochi gotovy k ljubym situacijam, 6 fevralja 2014: <http://www.arhinovosti.ru/2014/02/06/stadiony-v-sochi-gotovy-k-ljubym-situacijam>.
3. Posobie. Po kontrolju tehničeskogo sostojanija zdaniy s bol'sheproletnymi konstrukcijami v gorode Moskve s ispol'zovaniem sovremennyh avtomatizirovannyh tehničeskikh sredstv, v tom čisle peredvizhnyh avtomatizirovannyh stancij [Tekst]: otchet o NIR / V.V. Gur'ev, V.M. Dorofeev i dr. – M., GUP MNIITJeP, 2012. – 105 s.
4. Dorofeev, V.M. Osobennosti proektirovanija avtomatizirovannyh stacionarnyh sistem monitoringa tehničeskogo sostojanija nesushhih konstrukcij bol'sheproletnyh sportivnyh sooruzhenij Olimpiady 2014 v gorode Sochi [Tekst] / V.M. Dorofeev, D.A. Lysov, A.S. Denisov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – M., 2011. – №12. – S.46-48.

### **I. Stuntsaiger**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Deputy head of laboratory  
Ph.: +7 (915) 038-3234  
E-mail: i.stunts@yandex.ru

### **D. Lysov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, head of laboratory  
Ph.: +7 (495) 482-4076

### **A. Denisov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Deputy head of laboratory  
Ph.: +7 (495) 482-4076

### **A. Slobodenyuk**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Deputy head of laboratory  
Ph.: +7 (495) 482-4076

### **A. Kugachev**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Aspirant  
Ph.: +7 (495) 482-4076

## **НЕКОТОРЫЕ ПРЕДЛОЖЕНИЯ ДЛЯ КОНСТРУКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ ОТ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО РАЗРУШЕНИЯ**

*Дан анализ существующих методов оценки конструктивной безопасности и живучести зданий и сооружений. Рассмотрены некоторые конструктивные предложения по защите несущих систем зданий и сооружений повышенного уровня ответственности от прогрессирующего разрушения, а также новые направления синтеза адаптационно – приспособляемых конструкций, эффективно работающих при внезапных структурных перестройках.*

**Ключевые слова:** конструктивная безопасность, критерий живучести, запредельное состояние, безопасность зданий и сооружений.

После введения в хозяйственный оборот технического регламента «Безопасность зданий и сооружений» проблеме живучести и защите зданий и сооружений от прогрессирующего разрушения уделяется все возрастающее внимание. Одними из первых исследований в этой области стали исследования, проведенные в 90-е годы прошлого столетия Г.А. Гениевым, [1, 19], В.И. Травушем [2], В.М. Бондаренко, В.И. Колчуновым [3, 4], Н.И. Карпенко [5, 20] и их научными школами. В 2004 году была издана первая в стране монография по этой проблеме «Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях» [6].

В эти же годы были начаты широкомасштабные исследования МНИИТЭП по решению проблемы прогрессирующего разрушения для многоэтажных монолитных и панельных зданий (работы Н.Н. Стругацкого [7, 8, 9], Г.С. Шапиро [10], Л.В. Обуховой [11], Ю.П. Григорьева [12] и др.). Результатом этих исследований явилась разработка и издание первых в стране нормативно-технических документов по защите жилых монолитных и панельных зданий от прогрессирующего обрушения [7, 13-16].

Очевидно, что развитие теории конструктивной безопасности и живучести зданий и сооружений связана с накоплением соответствующих статистических данных об особенностях аварий сооружений при отказе отдельных конструкций или их элементов, в том числе результатов обследования сооружений после таких воздействий, а главное – с проведением целенаправленно поставленными экспериментальных исследований сооружений с изменяющимися конструктивными схемами. Первые экспериментальные исследования железобетонных конструкций в такой постановке за последние полтора десятилетия проведены в рамках программ фундаментальных исследований РААСН [17, 18, 21, 22], ОрелГТУ [23-27], Московского государственного строительного университета и Юго-Западного государственного университета [28, 29]. Авторами впервые было введено понятие «параметр живучести» и предложены аналитические зависимости для его количественной оценки, развиты и обобщены энергетические основы теории динамических догрузок Г.А. Гениева на широкий класс конструктивных систем [30], экспериментально проверен ряд фундаментальных положений основ теории живучести конструктивно и физически нелинейных систем с выходящими элементами при внезапном исчерпании их прочности или внезапной потере устойчивости [23, 27, 31].

Нельзя не отметить исследования по рассматриваемой проблеме выполненные в «ЦНИИПромзданий». Здесь можно назвать работы В.В. Гранева, Э.Н. Кодыша, Н.Н. Трекина, И.К. Никитина по проектированию и обеспечению устойчивости сборных железобетонных связевых каркасов от прогрессирующего обрушения [32, 35], публикации Я.М. Айзенберга,

Э.Н. Кодыша, И.К. Никитина, В.И. Смирнова по сейсмостойким многоэтажным зданиям с железобетонным каркасом [36]. Результаты этих исследований получили обобщение в монографиях [33, 34, 36] и подготовленных и изданных в последние годы нормативно-технических документах (СТО, рекомендации по проектированию и др.) по защите зданий от прогрессирующего обрушения [7, 13-16, 38]. Несмотря на то, что отмеченные и другие исследования по этой проблеме носят пока еще фрагментарный характер, их результаты уже в ближайшее время могут быть преобразованы в конкретные технические требования, которые должны отвечать общим положениям Федерального закона №384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и обеспечить безопасность проектируемых, возводимых и эксплуатируемых строительных объектов повышенного уровня ответственности. При этом одной из ключевых задач является создание научно-обоснованных методологий и принципов защиты зданий и сооружений от прогрессирующего разрушения.

Для предотвращения или ограничения прогрессирующего разрушения после отказа одного из несущих элементов предложены различные методы защиты [6, 30, 41]. Меры так называемой вторичной защиты и косвенное проектирование направлены [41] на предотвращение или снижение влияния событий, вызывающих особые нагрузки на конструкции, путем введения специальных защитных мер (защитные барьеры вокруг колонн, локализация здания от многолюдных мест, контроль за посетителями объектов, специальная окраска поверхностей, повышающая сопротивление огневому или взрывному воздействию и т.д.) или на обеспечение минимальных требований к конструкциям для их защиты от прогрессирующего разрушения. Однако такие меры не всегда эффективны. Поэтому для зданий и сооружений с высоким уровнем ответственности целесообразны меры активной защиты и, соответственно, методы прямого проектирования. К таким методам защиты можно отнести следующие.

1. Метод создания альтернативных путей силового сопротивления, при которых обеспечивается сохранение несущей способности конструктивной системы после выключения одного из конструктивных элементов и разрушения локализуются. Примером такого решения является разрезка статически неопределимой конструктивной системы каркаса здания шарнирными вставками на отдельные блоки (рис. 1, а), при разрушении элементов в которых динамические догрузки локализуются в пределах одного блока.

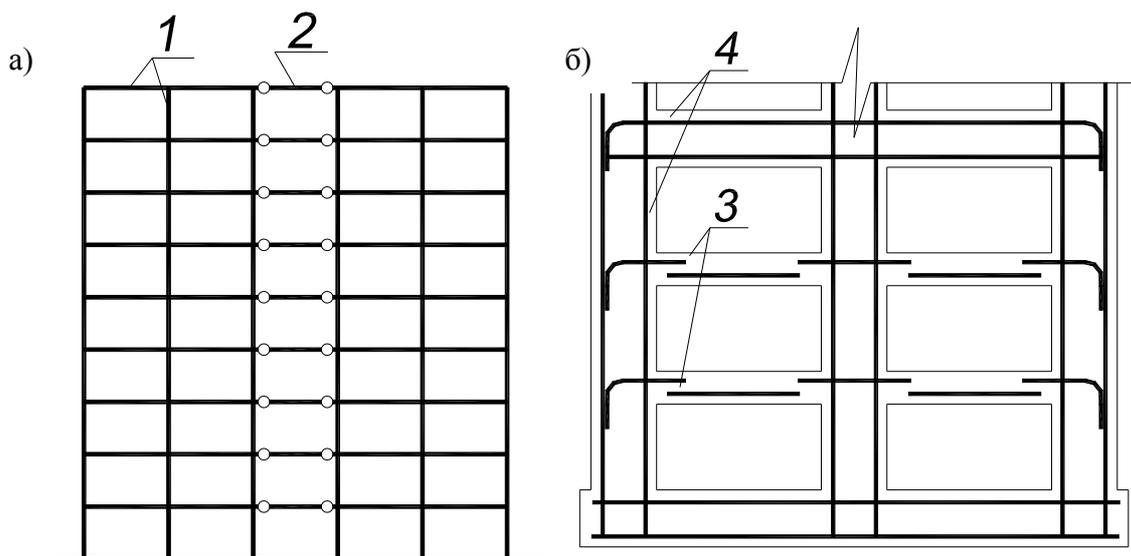


Рисунок 1 – Конструктивные схемы защиты железобетонных каркасов зданий от прогрессирующего разрушения: 1, 2 – элементы с жесткими и шарнирными сопряжениями в узлах; 3, 4 – элементы с обычным и повышенным сопротивлением запроектным воздействиям

2. Метод создания локальных зон повышенного сопротивления. Когда все здание или его часть обладают повышенным сопротивлением к возможным запроектным воздействиям в

случае аварий. Например, это может быть создание сечений ключевых несущих элементов повышенной жесткости с мощным двойным армированием (рис. 1, б).

3. Метод структурного синтеза конструктивной системы с созданием наперед заданных требований эффективно выполняющих функциональные свойства. В этом случае проектирование конфигурации конструктивной системы включает определение ее топологии, геометрии и параметров армирования сечения [43]. На практике часто топологию и геометрию системы принимают заданными, и это определяет самый низкий уровень постановки проектной задачи по защите от прогрессирующего разрушения. Самым высоким уровнем защиты следует признать решение проектной задачи при неизвестной топологии.

4. Эффективная защита может быть применением комбинированного метода в виде поиска эффективной топологии и рационального формирования структуры элементов конструктивной системы в отношении упругопластических свойств материалов, коэффициентов анизотропии и др.

В заключение можно заметить, что постановка и решение задач живучести конструктивных систем при запроектных воздействиях и создание методов их защиты от прогрессирующих разрушений находится в настоящее время на уровне поисковых исследований. Предстоит выполнение большого комплекса теоретических и особенно экспериментальных исследований для обеспечения требований технического регламента «Безопасность зданий и сооружений» и создания свода правил и других нормативных документов нового поколения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гениев, Г.А. Об оценке динамических эффектов стержневых системах из хрупких материалов [Текст] / Г.А. Гениев, // Бетон и железобетон. – 1992. – №9. – С. 25-27.
2. Травуш, В.И. Безопасность и устойчивость в приоритетных направлениях развития России [Текст] / В.И. Травуш // Academia. – 2006. – №2.
3. Бондаренко, В.М. Экспозиция живучести железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Известия вузов. Строительство. – 2007. – №5. – С. 4-8.
4. Бондаренко, В.М. Еще раз о конструктивной безопасности и живучести зданий [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева // РААСН. Юбилейный выпуск к 15-летию РААСН. Вестник отделения строительных наук, 2007. – №11. – С. 81-86.
5. Карпенко Н.И. О концептуально-методологических подходах к обеспечению конструктивной безопасности [Текст] / Н.И. Карпенко, В.И. Колчунов // Строительная механика и расчет сооружений, 2007. – №1. – С4-8.
6. Гениев, Г.А. Прочность и деформативность железобетонных конструкций при запроектных воздействиях [Текст] / Г.А. Гениев, В.И. Колчунов, Н.В. Ключева и др. – М.: АСВ, 2004. – 216 с.
7. Рекомендации по предотвращению прогрессирующих обрушений крупнопанельных зданий / Г.И. Шапиро, Ю.М. Стругацкий, Ю.А. Эйсман // Москомархитектура. – М., 1999.
8. Шапиро, Г.И. Безопасность московских жилых зданий массовых серий при чрезвычайных ситуациях / Г.И. Шапиро, Ю.М. Стругацкий // Промышленное и гражданское строительство. – 1998. – №8.
9. Шапиро, Г.И. Защита панельных зданий от воздействия перепада температуры при аварийном отключении отопления / Г.И. Шапиро, Ю.М. Стругацкий // Промышленное и гражданское строительство, 2001. – №5.
10. Шапиро, Г.И. Проблема защиты жилых зданий от прогрессирующего обрушения: науч. тр. 2-й Всероссийской Международной конференции «Бетон и железобетон – пути развития». – М.: НИИЖБ, 2005. – Т.2. – С. 258-261.
11. Шапиро, Г.И. Защита от прогрессирующего обрушения жилых домов первого периода индустриального домостроения серий 1-510, 1-511, 1-515 / Г.И. Шапиро, Л.В. Обухова, Ю.А. Эйсман, Е.В. Сиротина // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №5.
12. Шапиро, Г.И. Разнообразие фасадных конструкций панельных зданий и их защита от прогрессирующего обрушения / Г.И. Шапиро, Ю.П. Григорьев, Л.В. Обухова, А.А. Гасанов // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №5.
13. Рекомендации по защите жилых зданий стеновых конструктивных систем при чрезвычайных ситуациях / Г.И. Шапиро, Ю.М. Стругацкий, Ю.А. Эйсман // Комплекс архитектуры, строительства, реконструкции и развития города. – М., 2000.
14. Рекомендации по защите жилых каркасных зданий при чрезвычайных ситуациях / Г.И. Шапиро, В.С. Коровкин, Ю.А. Эйсман, Ю.М. Стругацкий // Москомархитектура. – М., 2002.

15. Рекомендации по защите жилых зданий с несущими кирпичными стенами при чрезвычайных ситуациях / Г.И. Шапиро, В.С. Коровкин, Ю.А. Эйсман, Ю.М. Стругацкий // *Москомархитектура*. – М., 2002.
16. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения / Г.И. Шапиро, Ю.А. Эйсман, В.И. Травуш // *Москомархитектура*. – М., 2006.
17. Бондаренко, В.М. Экспозиция живучести железобетона [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // *Известия вузов. Строительство*. – 2007. – №5. – С. 4-8.
18. Бондаренко, В.М. Еще раз о конструктивной безопасности и живучести зданий [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов, Н.В. Клюева // *РААСН. Юбилейный выпуск к 15-летию РААСН. Вестник отделения строительных наук*. 2007. – №11. – С. 81-86.
19. Гениев, Г.А. О динамических эффектах в стержневых системах из физически нелинейных хрупких материалов [Текст] / Г.А. Гениев // *Промышленное и гражданское строительство*. – 1999. – №9. – С. 23-24.
20. Карпенко, Н.И. О некоторых проблемах расчета современных зданий и сооружений [Текст] / Н.И. Карпенко // *Материалы вторых международных академических чтений «Новые энергосберегающие архитектурно – конструктивные решения жилых и гражданских зданий»*. – Орел, 2003. – С. 23-24.
21. Бондаренко, В.М. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // *Промышленное и гражданское строительство*. – 2013. – №2. – С. 28-24.
22. Александров, А.В. О критериях поведения отдельных стержней в момент потери устойчивости упругой системы [Текст] / А.В. Александров, А.В. Матвеев // *Ресурсо- и энергосбережение как мотивация творчества в архитектурно-строительном производстве: труды годовичного собрания РААСН/Москва-Казань*, 2003. – С. 428-431.
23. Клюева, Н.В. К анализу живучести внезапно повреждаемых рамных систем [Текст] / Н.В. Клюева, В.С. Федоров // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2006. – №3. – С. 7-13.
24. Клюева, Н.В. К оценке живучести железобетонных рамно-стержневых конструктивных систем при внезапных запроектных воздействиях [Текст] / Н.В. Клюева, О.А. Ветрова // *Бетон и железобетон*. – 2008. – №4. – С. 56-57.
25. Клюева, Н.В. К построению критериев живучести коррозионно-повреждаемых железобетонных конструктивных систем [Текст] / Н.В. Клюева, Н.Б. Андросова // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2009. – №1. – С. 29-34.
26. Клюева, Н.В. Предложения к расчету живучести коррозионно-повреждаемых железобетонных конструкций [Текст] / Н.В. Клюева // *Бетон и железобетон*. – 2008. – №3. – С. 22-26.
27. Колчунов, В.И. Экспериментально-теоретические исследования преднапряженных железобетонных элементов рам в запредельных состояниях [Текст] / В.И. Колчунов, Д.В. Кудрина // *Строительная механика и расчет сооружений*. – 2010. – №3. – С. 14-17.
28. Колчунов, В.И. Основные направления развития теории конструктивной безопасности и синтеза железобетонных конструкций зданий и сооружений [Текст] / В.И. Колчунов, А.Г. Тамразян // *Бетон и железобетон – взгляд в будущее: научные труды III Всероссийской (II Международной) конференции по бетону и железобетону (Москва, 12-16 мая 2014г.)*: в 7 т., Т.7. Пленарные доклады. Москва: МГСУ. – 2014. – С. 176-191.
29. Колчунов, В.И. Проблемные задачи развития гипотез механики разрушения применительно к расчету железобетонных конструкций [Текст] / В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, В.И. Колчунов, Н.А. Яковенко // *Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета*. – 2014. – №3. – С. 41-45.
30. Колчунов, В.И. Живучесть зданий и сооружений при запроектных воздействиях [Текст] / В.И. Колчунов, Н.В. Клюева, Н.Б. Андросова, А.С. Бухтиярова / *Научное издание*. – М.: АСВ, 2014. – 208 с.
31. Колчунов, В.И. Экспериментально-теоретические исследования живучести железобетонных рам при потере устойчивости отдельного элемента [Текст] / В.И. Колчунов, Н.О. Прасолов, Л.В. Кожаринова / *Сб. мат. III академических чтений «Актуальные вопросы строительной физики»*. – 2011.
32. Кодыш Э.Н., Трекин Н.Н. Совершенствование расчета многоэтажных каркасных зданий. – *Материалы международных академических чтений «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения»*.
33. Кодыш, Э.Н. Проектирование многоэтажных зданий с железобетонным каркасом [Текст] / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин, И.К. Никитин. – М.: АСВ, 2009. – 346 с.
34. Кодыш, Э.Н. Обеспечение устойчивости сборных железобетонных связевых каркасных зданий от прогрессирующего обрушения [Текст] / Э.Н. Кодыш, Н.Н. Трекин // *В сб. научных трудов «Предотвращение аварий зданий и сооружений»*. – М., 2009. – С. 142-145.
35. Кодыш, Э.Н. Расчет железобетонных конструкций из тяжелого бетона по прочности, трещиностойкости и деформациям [Текст] / Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, Н.Н. Трекин. – М.: АСВ, 2010. – 352 с.
36. Айзенберг, Я.М. Сейсмостойкие многоэтажные здания с железобетонным каркасом [Текст] / Я.М. Айзенберг, Э.Н. Кодыш, И.К. Никитин, В.И. Смирнов, Н.Н. Трекин. – М.: АСВ, 2012. – 264 с.
37. Эйсман, Ю.А. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения [Текст] / Ю.А. Эйсман, В.И. Травуш // *Москомархитектура*. – М., 2006.
38. Стандарт организации «Предотвращение прогрессирующего обрушения железобетонных монолитных конструкций зданий. Проектирование и расчет» СТО-008-02495342-2009. – Москва: ОАО «ЦНИИПромзданий». – 21с.

39. Травуш, В.И. Что следует изменить в техническом регламенте «О безопасности зданий и сооружений» [Текст] / В.И. Травуш, Ю.С. Волков // Строительство и реконструкция. – 2015. – №3. – С. 75-79.
40. Бондаренко, В.М. Некоторые результаты анализа и обобщения научных исследований по теории конструктивной безопасности и живучести [Текст] / В.М. Бондаренко, Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, Н.Б. Андросова // Строительство и реконструкция. – 2012. – №4. – С. 3-16.
41. Алмазов, В.О. Динамика прогрессирующего разрушения монолитных многоэтажных каркасов [Текст] [Текст] / В.О. Алмазов, Кхой Као Зуй. – М.: АСВ, 2013. – 128 с.
42. Бондаренко, В.М. Концепция и направления развития теории конструктивной безопасности зданий и сооружений при силовых и средовых воздействиях [Текст] / В.М. Бондаренко, В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №2. – С. 28-31.
43. Юрьев, А.Г. Проектирование рациональных железобетонных покрытий [Текст] / А.Г. Юрьев, В.И. Колчунов // Известия ВУЗов. Строительство. – 1994. – №12. – С. 30-36.

### **Ключева Наталия Витальевна**

Юго-западный государственный университет, г. Курск

Доктор технических наук профессор, заведующая кафедрой «Промышленное и гражданское строительство

Тел.: +7 (4712) 50-48-16

E-mail: Klynavit@yandex.ru

### **Андросова Наталия Борисовна**

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Строительные конструкции и материалы»

Тел.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: ramia84@rambler.ru

---

N. KLUEVA, N. ANDROSOVA

## **SOME PROPOSALS FOR STRUCTURAL PROTECTION OF BUILDINGS AND STRUCTURES FROM PROGRESSIVE FAILURE**

*The paper presents the analysis of existing methods for assessment of structural safety and durability of buildings and structures. The authors consider some proposals for the protection of bearing structures of buildings and structures of high level of importance from progressive failure. The work also covers new directions for designing adaptable structures working effectively with the sudden structural changes.*

***Keywords:** structural safety, criterion of survivability, extremal condition, safety of buildings and constructions.*

### **BIBLIOGRAPHY**

1. Geniev, G.A. Ob ocenke dinamicheskikh jeffektov sterzhnevyykh sistemah iz hrupkiykh materialov [Tekst] / G.A. Geniev, // Beton i zhelezobeton. – 1992. – №9. – S. 25-27.
2. Travush, V.I. Bezopasnost' i ustojchivost' v prioritnykh napravleniyah razvitiya Rossii [Tekst] / V.I. Travush // Academia. – 2006. – №2.
3. Bondarenko, V.M. Jekspozicija zhivuchesti zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Izvestiya vuzov. Stroitel'stvo. – 2007. – №5. – С. 4-8.
4. Bondarenko, V.M. Eshhe raz o konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti zdaniy [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva // RAASN. Jubilejnyj vypusk k 15-letiju RAASN. Vestnik otdeleniya stroitel'nykh nauk, 2007. – №11. – S. 81-86.
5. Karpenko N.I. O konceptual'no-metodologicheskikh podhodah k obespecheniju konstruktivnoj bezopasnosti [Tekst] / N.I. Karpenko, V.I. Kolchunov // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij, 2007. – №1. – S4-8.
6. Geniev, G.A. Prochnost' i deformativnost' zhelezobetonnykh konstrukcij pri zaproektnykh vozdeystvijah [Tekst] / G.A. Geniev, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva i dr. – М.: ASV, 2004. – 216 s.
7. Rekomendacii po predotvrashheniju progressirujushchih obrushenij krupnopanel'nykh zdaniy / G.I. Shapiro, Ju.M. Strugackij, Ju.A. Jejsman // Moskomarhitektura. – М., 1999.
8. Shapiro, G.I. Bezopasnost' moskovskih zhilykh zdaniy massovykh serij pri chrezvychajnykh situacijah / G.I. Shapiro, Ju.M. Strugackij // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 1998. – №8.

9. Shapiro, G.I. Zashhita panel'nyh zdaniy ot vozdeystviya perepada temperatury pri avarijnom otkljuchenii otopenija / G.I. Shapiro, Ju.M. Strugackij // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2001. – №5.
10. Shapiro, G.I. Problema zashhity zhilyh zdaniy ot progressirujushhego obrushenija: nauch. tr. 2-j Vserossijskoj Mezhdunarodnoj konferencii «Beton i zhelezobeton – puti razvitiya». – M.: NIIZhB, 2005. – T.2. – S. 258-261.
11. Shapiro, G.I. Zashhita ot progressirujushhego obrushenija zhilyh domov pervogo perioda industrial'nogo domostroenija serij 1-510, 1-511, 1-515 / G.I. Shapiro, L.V. Obuhova, Ju.A. Jejsman, E.V. Sirotina // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2007. – №5.
12. Shapiro, G.I. Raznoobrazie fasadnyh konstrukcij panel'nyh zdaniy i ih zashhita ot progressirujushhego obrushenija / G.I. Shapiro, Ju.P. Grigor'ev, L.V. Obuhova, A.A. Gasanov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2007. – №5.
13. Rekomendacii po zashhite zhilyh zdaniy stenovyh konstruktivnyh sistem pri chrezvychajnyh situacijah / G.I. Shapiro, Ju.M. Strugackij, Ju.A. Jejsman // Kompleks arhitektury, stroitel'stva, rekonstrukcii i razvitiya goroda. – M., 2000.
14. Rekomendacii po zashhite zhilyh karkasnyh zdaniy pri chrezvychajnyh situacijah / G.I. Shapiro, B.C. Korovkin, Ju.A. Jejsman, Ju.M. Strugackij // Moskomarhitektura. – M., 2002.
15. Rekomendacii po zashhite zhilyh zdaniy s nesushhimi kirpichnymi stenami pri chrezvychajnyh situacijah / G.I. Shapiro, B.C. Korovkin, Ju.A. Jejsman, Ju.M. Strugackij // Moskomarhitektura. – M., 2002.
16. Rekomendacii po zashhite vysotnyh zdaniy ot progressirujushhego obrushenija / G.I. Shapiro, Ju.A. Jejsman, V.I. Travush // Moskomarhitektura. – M., 2006.
17. Bondarenko, V.M. Jekspozicija zhivuchesti zhelezobetona [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Izvestija vuzov. Stroitel'stvo. – 2007. – №5. – С. 4-8.
18. Bondarenko, V.M. Eshhe raz o konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti zdaniy [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva // RAASN. Jubilejnyj vypusk k 15-letiju RAASN. Vestnik otdelenija stroitel'nyh nauk. 2007. – №11. – S. 81-86.
19. Geniev, G.A. O dinamicheskikh jeffektah v sterzhnevnyh sistemah iz fizicheski nelinejnyh hrupkih materialov [Tekst] / G.A. Geniev // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 1999. – №9. – S. 23-24.
20. Karpenko, N.I. O nekotoryh problemah rascheta sovremennyh zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / N.I. Karpenko // Materialy vtoryh mezhdunarodnyh akademicheskikh chtenij «Novye jenergosberegajushhie arhitekturno – konstruktivnye reshenija zhilyh i grazhdanskih zdaniy». – Orel, 2003. – S. 23-24.
21. Bondarenko, V.M. Koncepcija i napravlenija razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdeystvijah [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – №2. – S. 28-24.
22. Aleksandrov, A.V. O kriterijah povedenija otdel'nyh strezhnej v moment poteri ustojchivosti uprugoj sistemy [Tekst] / A.V. Aleksandrov, A.V. Matveev // Resurso- i jenergosberezenie kak motivacija tvorchestva v arhitekturno-stroitel'nom proizvodstve: trudy godichnogo sobranija RAASN/Moskva-Kazan', 2003. – S. 428-431.
23. Kljueva, N.V. K analizu zhivuchesti vnezapno povrezhdaemyh ramnyh sistem [Tekst] / N.V. Kljueva, V.S. Fedorov // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2006. – №3. – S. 7-13.
24. Kljueva, N.V. K ocenke zhivuchesti zhelezobetonnyh ramno-sterzhnevnyh konstruktivnyh sistem pri vnezapnyh zaproektnykh vozdeystvijah [Tekst] / N.V. Kljueva, O.A. Vetrova // Beton i zhelezobeton. – 2008. – №4. – S. 56-57.
25. Kljueva, N.V. K postroeniju kriteriev zhivuchesti korrozionno-povrezhdaemyh zhelezobetonnyh konstruktivnyh sistem [Tekst] / N.V. Kljueva, N.B. Androsova // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2009. – №1. – S. 29-34.
26. Kljueva, N.V. Predlozhenija k raschetu zhivuchesti korrozionno-povrezhdaemyh zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / N.V. Kljueva // Beton i zhelezobeton. – 2008. – №3. – S. 22-26.
27. Kolchunov, V.I. Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija prednaprjazhennyh zhelezobetonnyh jelementov ram v zapredel'nyh sostojanijah [Tekst] / V.I. Kolchunov, D.V. Kudrina // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2010. – №3. – S. 14-17.
28. Kolchunov, V.I. Osnovnye naprjavlenija razvitiya teorii konstruktivnoj bezopasnosti i sinteza zhelezobetonnyh konstrukcij zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / V.I. Kolchunov, A.G. Tamrazjan // Beton i zhelezobeton – vzgljad v budushhee: nauchnye trudy III Vserossijskoj (II Mezhdunarodnoj) konferencii po betonu i zhelezobetonu (Moskva, 12-16 maja 2014g.): v 7 t., T.7. Plenarnye doklady. Moskva: MGSU. – 2014. – S. 176-191.
29. Kolchunov, V.I. Problemnye zadachi razvitiya gipotez mehaniki razrushenija primenitel'no k raschetu zhelezobetonnyh konstrukcij [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, N.A. Jakovenko // Izvestija Kazanskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2014. – №3. – S. 41-45.
30. Kolchunov, V.I. Zhivuchest' zdaniy i sooruzhenij pri zaproektnykh vozdeystvijah [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.V. Kljueva, N.B. Androsova, A.S. Buhtijarova / Nauchnoe izdanie. – M.: ASV, 2014. – 208 s.
31. Kolchunov, V.I. Jeksperimental'no-teoreticheskie issledovanija zhivuchesti zhelezobetonnyh ram pri potere ustojchivosti otdel'nogo jelementa [Tekst] / V.I. Kolchunov, N.O. Prasolov, L.V. Kozharinova / Sb. mat. III akademicheskikh chtenij «Aktual'nye voprosy stroitel'noj fiziki». – 2011.
32. Kodysh Je.N., Trekin N.N. Sovershenstvovanie rascheta mnogojetazhnyh karkasnyh zdaniy. – Materialy mezhdunarodnyh akademicheskikh chtenij «Bezopasnost' stroitel'nogo fonda Rossii. Problemy i reshenija».
33. Kodysh, Je.N. Proektirovanie mnogojetazhnyh zdaniy s zhelezobetonnym karkasom [Tekst] / Je.N. Kodysh, N.N. Trekin, I.K. Nikitin. – M.: ASV, 2009. – 346 s.

34. Kodysh, Je.N. Obespechenie ustojchivosti sbornyh zhelezobetonnyh svjazyevyh karkasnyh zdaniy ot progressirujushhego obrusheniya [Tekst] / Je.N. Kodysh, N.N. Trekin // V sb.nauchnyh trudov «Predotvrashhenie avarij zdaniy i sooruzhenij». – M., 2009. – S. 142-145.
35. Kodysh, Je.N. Raschet zhelezobetonnyh konstrukcij iz tjazhelogo betona po prochnosti, treshhinostojkosti i deformacijam [Tekst] / Je.N. Kodysh, I.K. Nikitin, N.N. Trekin. – M.: ASV, 2010. – 352 s.
36. Ajzenberg, Ja.M. Sejsmostojkie mnogojetazhnye zdaniya s zhelezobetonnyim karkasom [Tekst] / Ja.M. Ajzenberg, Je.N. Kodysh, I.K. Nikitin, V.I. Smirnov, N.N. Trekin. – M.: ASV, 2012. – 264 s.
37. Jejsman, Ju.A. Rekomendacii po zashhite vysotnyh zdaniy ot progressirujushhego obrusheniya [Tekst] / Ju.A. Jejsman, V.I. Travush // Moskomarhitektura. – M., 2006.
38. Standart organizacii «Predotvrashhenie progressirujushhego obrusheniya zhelezobetonnyh monolitnyh konstrukcij zdaniy. Proektirovanie i raschet» STO-008-02495342-2009. – Moskva: OAO «CNIIPromzdanij». – 21s.
39. Travush, V.I. Chto sleduet izmenit' v tehicheskom reglamente «O bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij» [Tekst] / V.I. Travush, Ju.S. Volkov // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2015. – №3. – S. 75-79.
40. Bondarenko, V.M. Nekotorye rezul'taty analiza i obobshheniya nauchnyh issledovanij po teorii konstruktivnoj bezopasnosti i zhivuchesti [Tekst] / V.M. Bondarenko, N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, N.B. Androsova // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – 2012. – №4. – S. 3-16.
41. Almazov, V.O. Dinamika progressirujushhego razrusheniya monolitnyh mnogojetazhnyh karkasov [Tekst] [Tekst] / V.O. Almazov, Khoj Kao Zuj. – M.: ASV, 2013. – 128 s.
42. Bondarenko, V.M. Konceptija i napravlenija razvitija teorii konstruktivnoj bezopasnosti zdaniy i sooruzhenij pri silovyh i sredovyh vozdeystvijah [Tekst] / V.M. Bondarenko, V.I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – №2. – S. 28-31.
43. Jur'ev, A.G. Proektirovanie racional'nyh zhelezobetonnyh pokrytij [Tekst] / A.G. Jur'ev, V.I. Kolchunov // Izvestija VUZov. Stroitel'stvo. – 1994. – №12. – S. 30-36.

**N. Klueva**

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical science, professor of department «Design, construction of building and linear constructions»

Ph.: +7 (4712) 50-48-16

E-mail: Klynavit@yandex.ru

**N. Androsova**

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, associate professor of department «Construction structures and materials»

Ph.: +7 (4862) 73-43-49

E-mail: ramia84@rambler.ru

ПОНОМАРЕВ О.И., МИНАСЯН А.А.

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ УСТОЙЧИВОСТИ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ И ВЫСОТНЫХ СООРУЖЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНЫХ НАГРУЗКАХ

*Рассматриваются вопросы локальной (местной) и общей устойчивости многоэтажных зданий и высотных сооружений по энергетическим критериям при аварийных (взрывы, торнадо, цунами, землетрясения) воздействиях. Приведены зависимости, определяющие энергетические критерии коэффициента устойчивости. Анализируются дифференциальные уравнения, описывающие трехмерные поступательные и трехмерные вращательные колебания при аварийных воздействиях. Получены зависимости оценки локальной и общей устойчивости по высшим формам колебания. Обоснована возможность оценки локальной и общей устойчивости зданий и сооружений по энергетическим критериям при трехмерном поступательном и вращательном (поворотном) колебаниях относительно координатных осей X, Y, Z. Приведен численный пример определения коэффициента устойчивости по энергетическим критериям. При этом анализируется поведение многоэтажных зданий при землетрясении в Мексике, г. Мехико, 1986; Китае, г. Шанхай, 2009 г.*

**Ключевые слова:** коэффициент надежности по устойчивости, энергетические критерии устойчивости при аварийных воздействиях, локальная и общая устойчивость при трехмерном поступательном и вращательном (поворотном) колебаниях относительно координатных осей.

### Многомассовые динамические системы

В настоящей работе приведены исследования устойчивости многоэтажных зданий и высотных сооружений, по энергетическим критериям при аварийных (взрывы, торнадо, цунами, землетрясения) нагрузках. Приведены дифференциальные уравнения, описывающие трехмерные поступательные и вращательные колебания в многомассовой системе при аварийных нагрузках. При проведении динамического анализа учитывались высшие формы колебаний конструкций и затухания энергии.

Инженерный анализ последствий разрушительных землетрясений: в Японии, г. Кобе 1995 г., г. Фукусиме 2011г; Чили, г. Консепсьоне 2010 г.; Новая Зеландия 2011 г., в Китае, г. Шанхае, 2009 г. и др. показывает, что во многих случаях, в результате сейсмических воздействий причиной разрушения стали потеря устойчивости (местной и общей) здания, каркаса или отдельного ярусов.

На рисунке 1 приведен фотоиллюстрация потери устойчивости, разрушение и падение здания при землетрясении Японии 11 марта 2011 г. Причиной потери устойчивости стал крен (наклон) здания.



**Рисунок 1 – Потеря устойчивости, разрушение и падение здания при землетрясении в Японии 11 марта 2011 г.**

Сценарии потери устойчивости в строительной механике разделяются на два основных типа: местная и общая. Некоторые авторы эти типы потери устойчивости характеризуют как в «малом» и в «большом»; локальном и глобальном и т.д.

В строительной механике и теории бифуркации принято, что потеря устойчивости в «локальном» имеет место только при некратной критической нагрузке. Таким образом, потеря устойчивости в этом случае происходит частично (для отдельных ярусов, этажей и т.д.) при минимальной критической нагрузке  $P_{min}$ , а поведение системы обратимое. В докритическое состояние система вернется при внутренней накопленной энергии, возможно за счет энергии соседних звеньев или донакопительной обратно действующей внутренней энергии (силой). Далее если конструкция (элемент) не вернется до критического состояния по мере увеличения внешней нагрузки с развитием закритического состояния в системе происходит вторичный этап потери устойчивости при нагрузке  $P_{кр2}$  и происходит потеря устойчивости в общем («глобальном» или «большом»).

Коэффициент устойчивости можно оценить согласно условию прочности на сдвиг Кулона, но в интегральной форме:

$$k_H = \frac{P_m}{Q_n} = \frac{\sum_{i=1}^N P_i m_i + P_a m_a}{\sum_{i=1}^N Q_i n_i + Q_a n_a} \quad (1)$$

где  $P_m, Q_n$  – соответственно суммарные удерживающие и сдвигающие силы;  $P_i, Q_i$  – соответственно удерживающие и сдвигающие силы  $m_i$  и  $n_i$  – соответственно коэффициенты надежности по устойчивости;  $P_a$  и  $Q_a$  – соответственно удерживающая и сдвигающая составляющая аварийных нагрузок,  $m_a$  и  $n_a$  – коэффициенты надежности аварийных воздействий.

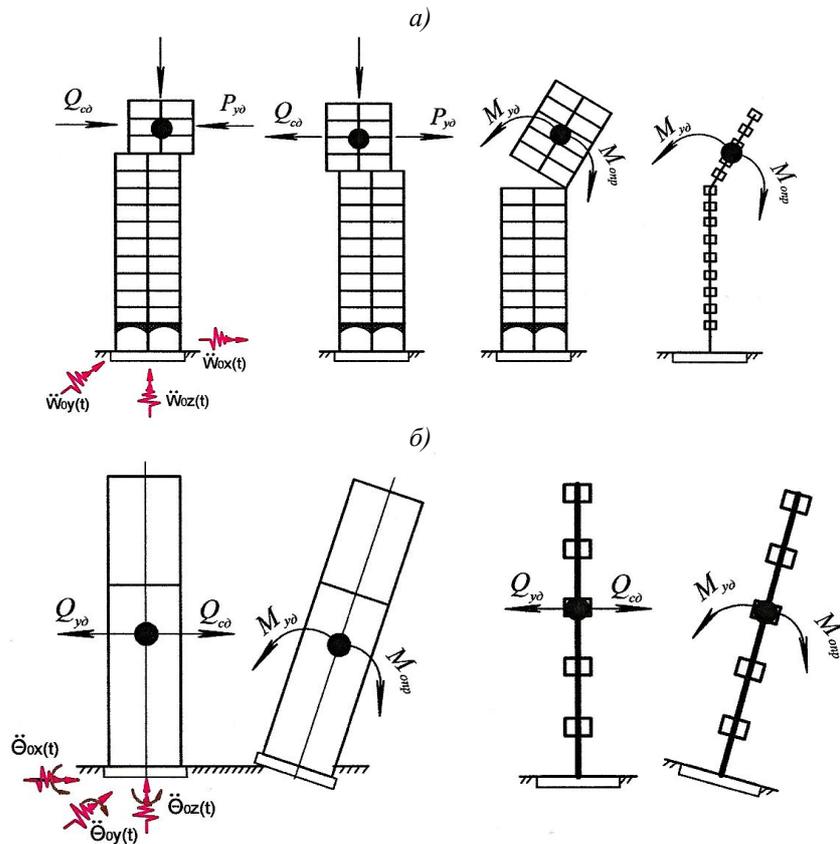


Рисунок 2 – Расчетная схема: а) – потеря локальной устойчивости; б) – потеря общей устойчивости

В формулу (1) входят силовые характеристики системы, а коэффициент устойчивости представляет собой отношение удерживающих и опрокидывающих (сдвигающих) сил.

В ряде случаев при возможности сооружения воспринимать большие перемещения, устойчивость здания и сооружения может точно характеризовать энергетические параметры системы. В этом случае коэффициент устойчивости по энергетическим критериям может быть представлен в следующем виде:

$$k_{\text{эн}} = \frac{\mathcal{E}_m}{\mathcal{E}_n} = \frac{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{yi} m_i + \mathcal{E}_{ya} m_a}{\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{oi} n_i + \mathcal{E}_{oa} n_a} \quad (1')$$

где  $\mathcal{E}_m$  и  $\mathcal{E}_n$  – соответственно суммарные энергии (работы) удерживающих и опрокидывающих воздействий;  $\mathcal{E}_{yi}$  и  $\mathcal{E}_{oi}$  – соответственно энергии компонентов удерживающих и опрокидывающих воздействий;  $m_i$  и  $n_i$  – соответственно коэффициенты надежности по устойчивости;  $\mathcal{E}_{ya}$  и  $\mathcal{E}_{oa}$  – соответственно энергии удерживающих и опрокидывающих аварийных воздействий;  $m_a$  и  $n_a$  – коэффициенты надежности по устойчивости аварийных нагрузок.

Коэффициент устойчивости  $k_n$  при вращательных колебаниях.

$$k_n = \frac{M_m}{M_n} = \frac{\sum_{i=1}^N M_{iy} m_i + M_{ay} m_a}{\sum_{i=1}^N M_{io} n_i + M_{ao} n_a} \quad (2)$$

где  $M_m$  и  $M_n$  – соответственно суммарные моменты удерживающих и опрокидывающих сил относительно центра тяжести;  $M_{iy}$  и  $M_{io}$  – соответственно моменты удерживающих и опрокидывающих сил;  $m_i$  и  $n_i$  – соответственно коэффициенты надежности по устойчивости;  $M_{ay}$  и  $M_{ao}$  – соответственно моменты удерживающих и опрокидывающих сил от аварийных нагрузок;  $m_a$  и  $n_a$  – коэффициенты надежности по устойчивости аварийных нагрузок.

Коэффициент устойчивости по энергетическим критериям при вращательных (поворотных) колебаниях будет иметь вид:

$$k_{\text{эо}} = \frac{\mathcal{E}_m^*}{\mathcal{E}_n^*} = \frac{\sum_{i=1}^N \mathcal{E}_{iy}^* m_i + \mathcal{E}_{ay}^* m_a}{\sum_{i=1}^N \mathcal{E}_{ia}^* n_i + \mathcal{E}_{ao}^* n_a} \quad (2')$$

где  $\mathcal{E}_{mi}^*$  и  $\mathcal{E}_n^*$  – соответственно суммарные энергии удерживающих и опрокидывающих воздействий при вращении;  $\mathcal{E}_{iy}^*$  и  $\mathcal{E}_{ia}^*$  – соответственно энергии удерживающих и опрокидывающих воздействий;  $\mathcal{E}_{ay}^*$  и  $\mathcal{E}_{ao}^*$  также при аварийных воздействиях. Коэффициенты надежности как и в формуле (1').

Энергия (работа) аварийных воздействий будет иметь вид:

$$\mathcal{E}_{1a} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S_{1ij}^a (W_{1ji} - W_{1ji-1}), \quad (3)$$

$$\mathcal{E}_{2a} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S_{2ij}^a (W_{2ji} - W_{2ji-1}), \quad (4)$$

$$\mathcal{E}_{3a} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N S_{3ij}^a (W_{3ji} - W_{3ji-1}), \quad (5)$$

где  $S_{1ij}^a$ ,  $S_{2ij}^a$ ,  $S_{3ij}^a$  и  $W_{1ji}$ ,  $W_{2ji}$ ,  $W_{3ji}$  – соответственно силы и перемещения от аварийных воздействий в  $i$  точке по  $j$  – форме колебания по 1, 2, 3 (X, Y, Z) направлениям.

Аварийные нагрузки определяются по следующей формуле:

$$\left. \begin{aligned} S_{1iy}^a &= B_{1wi}^* (W_{1ji} - W_{1ji-1}) \\ S_{2iy}^a &= B_{2wi}^* (W_{2ji} - W_{2ji-1}) \\ S_{3iy}^a &= B_{3wi}^* (W_{3ji} - W_{3ji-1}) \end{aligned} \right\}, \quad (6)$$

где  $B_{1wi}^*$ ,  $B_{2wi}^*$ ,  $B_{3wi}^*$  – характеристики жесткости в  $i$ -ой точке по направлениям осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Энергия аварийных воздействий при поворотных (вращательных) колебания определяются по следующим формулам:

$$\mathcal{E}_{1a}^g = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N M_{1ij}^a (\theta_{1ji} - \theta_{1ji-1}), \quad (7)$$

$$\mathcal{E}_{2a}^g = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N M_{2ij}^a (\theta_{2ji} - \theta_{2ji-1}), \quad (8)$$

$$\mathcal{E}_{3a}^g = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N M_{3ij}^a (\theta_{3ji} - \theta_{3ji-1}), \quad (9)$$

где  $M_{1ij}^a$ ,  $M_{2ij}^a$ ,  $M_{3ij}^a$  и  $\theta_{1ji}$ ,  $\theta_{2ji}$ ,  $\theta_{3ji}$  – соответственно изгибающие моменты и углы вращения от аварийных воздействий в  $i$  точке по  $j$  – форме колебания по 1, 2, 3 ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) направлениям.

Изгибающие моменты от аварийных нагрузок при вращательных колебаниях будут иметь следующий вид:

$$\left. \begin{aligned} M_{1iy}^a &= B_{1\theta i}^* (\theta_{1ji} - \theta_{1ji-1}) \\ M_{2iy}^a &= B_{2\theta i}^* (\theta_{2ji} - \theta_{2ji-1}) \\ M_{3iy}^a &= B_{3\theta i}^* (\theta_{3ji} - \theta_{3ji-1}) \end{aligned} \right\}, \quad (10)$$

где  $B_{1\theta i}^*$ ,  $B_{2\theta i}^*$ ,  $B_{3\theta i}^*$  – характеристики изгибных жесткости в  $i$ -ой точке относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

Найденные таким путем аварийные (сейсмические, динамические, техногенные и т.д.) нагрузки по (6) разделяются на составляющие удерживающих и опрокидывающих (сдвигающих) сил, которые входят в уравнение (1') и определяются коэффициенты устойчивости по энергетическим критериям. Аналогичным образом определяется коэффициент устойчивости при вращательных колебаниях по энергетическим критериям относительно осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ .

При этом суммарное перемещение  $W_{1i}(t)$ ;  $W_{2i}(t)$ ;  $W_{3i}(t)$  и углов вращения  $\theta_{1i}(t)$ ;  $\theta_{2i}(t)$ ;  $\theta_{3i}(t)$  представляются в следующем виде:

$$\begin{pmatrix} W_{1i}(t) \\ W_{2i}(t) \\ W_{3i}(t) \end{pmatrix} = \sum_{j=1}^n \Phi_{ij} \begin{pmatrix} q_{1ij}(t) \\ q_{2ij}(t) \\ q_{3ij}(t) \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} \theta_{1i}(t) \\ \theta_{2i}(t) \\ \theta_{3i}(t) \end{pmatrix} = \sum_{j=1}^n \Psi_{ij} \begin{pmatrix} \Omega_{1ij}(t) \\ \Omega_{2ij}(t) \\ \Omega_{3ij}(t) \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где  $\Phi_{ij}$  и  $\Psi_{ij}$  – соответственно собственные функции при поступательном и вращательном колебании [1-3].

Перемещение и углы вращения получены из дифференциальных уравнений, которые в координатах Лагранжа II рода имеют следующий вид:

$$\begin{pmatrix} \ddot{q}_{1i}(t) \\ \ddot{q}_{2i}(t) \\ \ddot{q}_{3i}(t) \end{pmatrix} + \{\gamma_{ij}\} \begin{pmatrix} \dot{q}_{1i}(t) \\ \dot{q}_{2i}(t) \\ \dot{q}_{3i}(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \omega_{11}^2 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \omega_{ij}^2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \omega_{nn}^2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} q_{1i}(t) \\ q_{2i}(t) \\ q_{3i}(t) \end{pmatrix} = -\{\bar{\delta}_{ij}\} \begin{pmatrix} \ddot{W}_{01}(t) \\ \ddot{W}_{02}(t) \\ \ddot{W}_{03}(t) \end{pmatrix}, \quad (12)$$

где  $\{\gamma_{ij}\}$  – диагональная матрица характеристик диссипации;

$$\begin{pmatrix} \ddot{\Omega}_{1i}(t) \\ \ddot{\Omega}_{2i}(t) \\ \ddot{\Omega}_{3i}(t) \end{pmatrix} + \{\zeta_{ij}\} \begin{pmatrix} \dot{\Omega}_{1i}(t) \\ \dot{\Omega}_{2i}(t) \\ \dot{\Omega}_{3i}(t) \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varphi_{11}^2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \varphi_{ij}^2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \varphi_{nn} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Omega_{1i}(t) \\ \Omega_{2i}(t) \\ \Omega_{3i}(t) \end{pmatrix} = -\{\alpha_y\} \begin{pmatrix} J_{01}(t) \\ J_{02}(t) \\ J_{03}(t) \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где  $\{\zeta_{ij}\}$  – диагональная матрица диссипации при вращении (повороте);

$$\{\varpi_y\} = \begin{pmatrix} \omega_{11}^2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \omega_{ij}^2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \omega_{nn} \end{pmatrix}; \quad \{\varphi_y\} = \begin{pmatrix} \varphi_{11}^2 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \varphi_{ij}^2 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \varphi_{nn} \end{pmatrix}; \quad (14)$$

– матрицы квадратов частот при поступательном и вращательном колебании соответственно.

$\{\delta_{ij}\} = \{M_i\} \{\Phi_{ij}\} \{M_i \Phi_{ij}^2\}^{-1}$  – матрица собственных характеристик системы при поступательных колебаниях, где  $\{M_i\}$  – диагональная матрица масс.

$\{\alpha_y\} = \{J_i\} \{\Psi_{ij}\} \{J_i \Psi_{ij}^2\}^{-1}$  – матрица собственных характеристик системы при вращательных колебаниях, где  $\{J_i\}$  – диагональная матрица моментов инерции.

Решение дифференциального уравнения (4) в Лагранжевых координатах 2-го рода в направлениях 1, 2, 3 ( $X, Y, Z$ .) примет следующий вид:

$$q_{1ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{1ij}}{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{1ij}^2 \omega_{1j}^{*2}} \frac{1}{\omega_{1j}^{*0}} \int_0^t \ddot{W}_{01}(t) \exp\left[-\frac{\gamma_{1i}}{2} \omega_{1j}^*(t-\tau)\right] \sin \omega_{1j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (15)$$

$$\Omega_{1ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{1ij}}{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{1ij}^2 \varphi_{1j}^{*2}} \frac{1}{\varphi_{1j}^{*0}} \int_0^t \ddot{\theta}_{01}(t) \exp\left[-\frac{\zeta_{1i}}{2} \varphi_{1j}^*(t-\tau)\right] \sin \varphi_{1j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (16)$$

$$q_{2ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{2ij}}{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{2ij}^2 \omega_{2j}^{*2}} \frac{1}{\omega_{2j}^{*0}} \int_0^t \ddot{W}_{02}(t) \exp\left[-\frac{\gamma_{2i}}{2} \omega_{2j}^*(t-\tau)\right] \sin \omega_{2j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (17)$$

$$\Omega_{2ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{2ij}}{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{2ij}^2 \varphi_{2j}^{*2}} \frac{1}{\varphi_{2j}^{*0}} \int_0^t \ddot{\theta}_{02}(t) \exp\left[-\frac{\zeta_{2i}}{2} \varphi_{2j}^*(t-\tau)\right] \sin \varphi_{2j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (18)$$

$$q_{3ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{3ij}}{\sum_{i=1}^n M_i \Phi_{3ij}^2 \omega_{3j}^{*2}} \frac{1}{\omega_{3j}^{*0}} \int_0^t \ddot{W}_{03}(t) \exp\left[-\frac{\gamma_{3i}}{2} \omega_{3j}^*(t-\tau)\right] \sin \omega_{3j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (19)$$

$$\Omega_{3ij}(t) = -\frac{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{3ij}}{\sum_{i=1}^n J_i \Psi_{3ij}^2 \varphi_{3j}^{*2}} \frac{1}{\varphi_{3j}^{*0}} \int_0^t \ddot{\theta}_{03}(t) \exp\left[-\frac{\zeta_{3i}}{2} \varphi_{3j}^*(t-\tau)\right] \sin \varphi_{3j}^*(t-\tau) d\tau; \quad (20)$$

$$\omega_{1j}^* = \sqrt{\omega_{1j}^2 - \gamma_1^2}, \quad \omega_{2j}^* = \sqrt{\omega_{2j}^2 - \gamma_2^2}, \quad \omega_{3j}^* = \sqrt{\omega_{3j}^2 - \gamma_3^2}; \quad (21)$$

$$\varphi_{1j}^* = \sqrt{\varphi_{1j}^2 - \zeta_1^2}, \quad \varphi_{2j}^* = \sqrt{\varphi_{2j}^2 - \zeta_2^2}, \quad \varphi_{3j}^* = \sqrt{\varphi_{3j}^2 - \zeta_3^2}, \quad (22)$$

где  $\omega_{1j}^*, \omega_{2j}^*, \omega_{3j}^*$  – вынужденные частоты колебаний системы по направлениям  $X, Y, Z$ .

$\varphi_{1j}^*, \varphi_{2j}^*, \varphi_{3j}^*$  – вынужденные частоты вращательных (поворотных) колебаний системы относительно осей  $X, Y, Z$ ; Остальные обозначения приведены в работе [3].

Решение дифференциальных уравнений (12) и (13) в направлениях 1, 2, 3 ( $X, Y, Z$ ) представлено в формулах (15-20). Далее определяются аварийные нагрузки и изгибающие моменты по формулам (3) и (10) а также энергетические характеристики системы по (3), (4), (5) и (7), (8), (9). После постановки энергетических характеристик в формулы (1') и (2') получаем коэффициенты устойчивости при поступательных и вращательных колебаниях по энергетическим критериям. При исследовании локальной устойчивости в расчетные формулы входят характеристики отдельных ярусов этажей и т.д.

На рисунке 3 приведены формы колебаний, потеря устойчивости и падение 13-ти этажного каркасного здания в г. Шанхае при землетрясении 27 июня 2009 г. Расчет выполнен под воздействием типа акселерограммы 9-тибалльного землетрясения. Получены формы колебания по  $X, Y$  направлениям. Результаты расчета показывают: По направлению  $X$  здание имеет значительный запас устойчивости, а по направлению  $Y$  – большие деформации, крен, потерю устойчивости и падение здания.

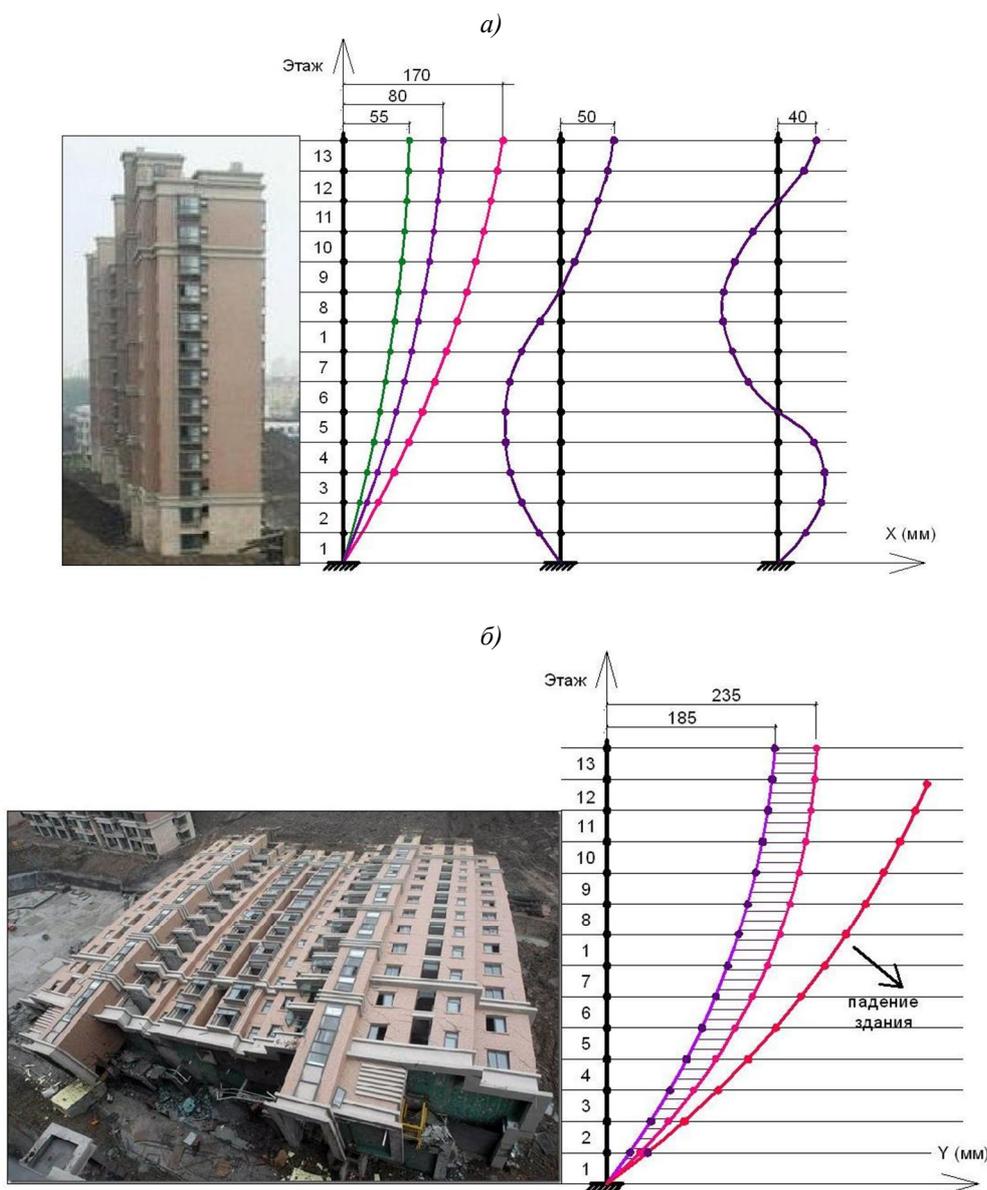


Рисунок 3 – Динамические поведения многоэтажного здания: (а) Формы колебания и устойчивое колебания по направлению  $X$ ; (б) Потеря устойчивости и падение здания по направлению  $Y$

На рисунке 4 приведены коэффициенты устойчивости по энергетическим критериям при разных периодах колебания по направлениям  $X$  и  $Y$ .

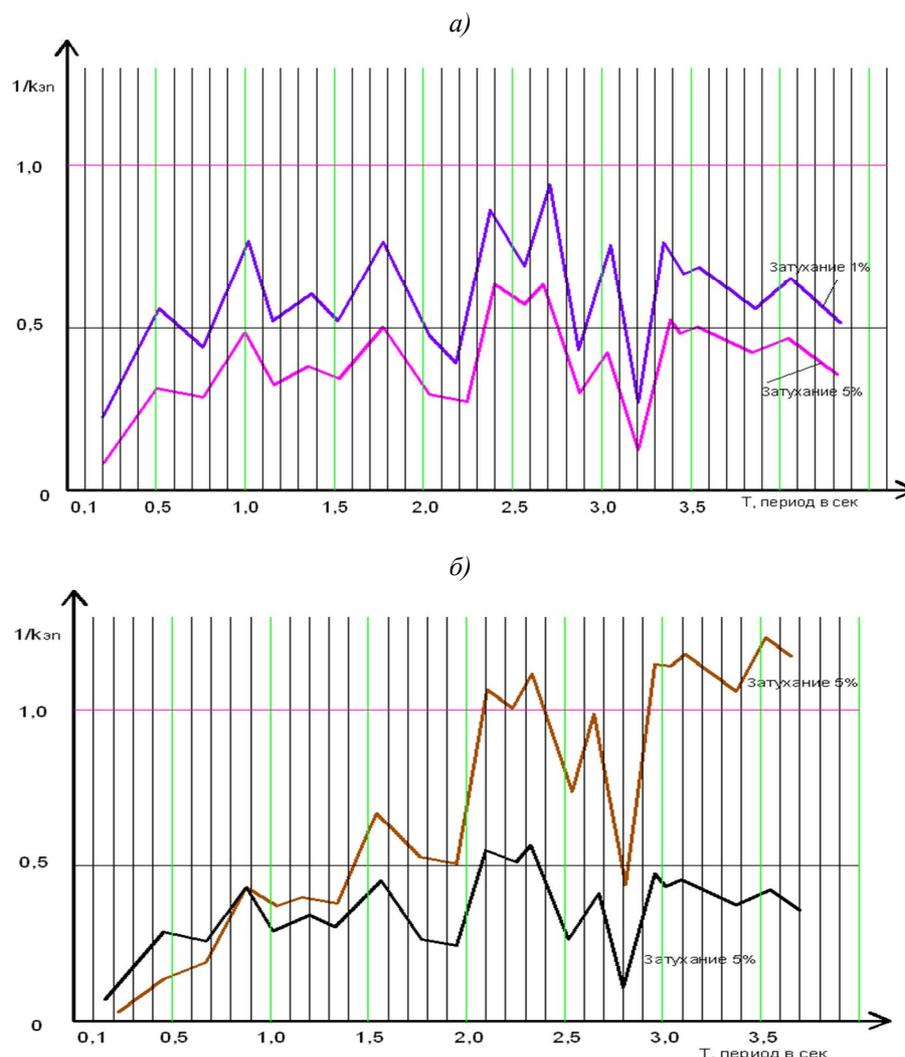


Рисунок 4 – коэффициент устойчивости 25-ти этажного здания при воздействии типа акселерограммы землетрясения в Мексике, г. Мехико, 1986 г.

*а* – по направлению *X* – устойчивость обеспечена;

*б* – по направлению *Y* – потеря устойчивости в периоды 2÷3,5 сек.

$1/k_{оп} < 1$  – область устойчивости;  $1/k_{оп} > 1$  – область неустойчивости;  
разделительная линия – критическое состояние  $1/k_{оп} = 1$

### Выводы.

Проведенные исследования показывают, что при расчете и проектировании многоэтажных зданий и высотных сооружений на возможные аварийные нагрузки, необходимо проводить проверку устойчивости по энергетическим критериям при поступательных и поворотных колебаниях в трех взаимно перпендикулярных направлениях, относительно осей *X*, *Y*, *Z*. При разработке нормативных документов СТУ необходимо учитывать ответственность объекта, вероятность возникновения аварийных воздействий (удар, взрыв, землетрясение, торнадо и др.), проводить проверку устойчивости по энергетическим критериям. Учитывая значительные амплитуды колебаний высотных зданий при аварийных воздействиях необходимо вводить ограничения деформаций (осевых перемещений, углов поворота) несущих конструкций.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ганиев, Р.Ф. Колебания твердых тел [Текст] / Р.Ф. Ганиев, В.О. Кононенко. – М.: Наука, 1976. – 431 с.
2. Гантмахер, Ф.П. Теория матриц [Текст] / Ф.П. Гантмахер. – М. Наука, 1988. – 552 с.
3. Пономарев, О.И. Динамический расчет реконструируемых зданий с учетом деформационной формы конструкций против прогрессирующего разрушения [Текст] / О.И. Пономарев, А.А. Минасян. – М.: НИЦ «Строительство». – 2011. – №3-4 (XXVIII). – С. 199-207.

**Пономарев О.И.**

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (ОАО «НИЦ «Строительство»), г. Москва  
Доктор технических наук, заместитель директора по научной работе  
Тел.: +7 (499) 174-77-94  
E-mail: nauka-rf@list.ru

**Минасян А.А.**

ЦНИИСК им. В.А. Кучеренко (ОАО «НИЦ «Строительство»), г. Москва  
Научный сотрудник  
Тел.: +7 (499) 174-72-10, +7 916 905 10 05  
E-mail: nauka-rf@list.ru

---

O. PONOMAREV, A. MINASYAN

**ENERGY SUSTAINABILITY CRITERIA OF MULTI-STOREY BUILDINGS AND HIGH-RISE BUILDINGS IN CASE OF EMERGENCY LOADS**

*The problems of the local (local) and the overall sustainability of high-rise buildings and high-rise buildings on energy criteria in emergency (explosions, tornadoes, tsunamis, earthquakes) loads. The dependences of determining the power factor of stability criteria. Analyzes the differential equations describing three-dimensional and three-dimensional translational rotational oscillations in emergency actions. The dependences of the evaluation of local and general stability at higher forms of oscillation. The possibility of estimating the local and the overall sustainability of buildings on energy criteria when three-dimensional translational and rotational (turning) fluctuations relative to the coordinate axes X, Y, Z. The numerical example determining factor in energy sustainability criteria, including the analysis is the behavior of multi-storey buildings in the earthquake Mexico, Mexico City, 1986; China, g Shanghai, 2009.*

**Keywords:** safety factor for stability, energy sustainability criteria in emergency exposures, local and general stability in the three-dimensional translational and rotational (turning) fluctuations relative to the coordinate axes.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Ganiev, R.F. Kolebanija tverdyh tel [Tekst] / R.F. Ganiev, V.O. Kononenko. – M.: Nauka, 1976. – 431 s.
2. Gantmaher, F.P. Teorija matric [Tekst] / F.P. Gantmaher. – M. Nauka, 1988. – 552 s.
3. Ponomarev, O.I. Dinamicheskij raschet rekonstruirovannykh zdaniy s uchetom deformacionnoj formy konstrukcij protiv progressirujushhego razrusheniya [Tekst] / O.I. Ponomarev, A.A. Minasjan. – M.: NIC «Stroitel'stvo». – 2011. – №3-4 (HHVIII). – S. 199-207.

**O. Ponomarev**

V.A. Kucherenko central scientific research institute for building structures, Moscow  
Doctor of technical sciences, deputy director on scientific work  
Ph.: +7 (499) 174-77-94  
E-mail: nauka-rf@list.ru

**A. Minasyan**

V.A. Kucherenko central scientific research institute for building structures, Moscow  
Researcher  
Ph.: +7 (499) 174-72-10, +7 916 905 10 05  
E-mail: nauka-rf@list.ru

УДК 624

ГРЕБЕНКИН А.М., ГРЕБЕНКИНА Е.В., ШУБИН И.Л.

## **КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ПОСЛЕДСТВИЙ ИНТЕГРАЦИИ ШУМОЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ В ГОРОДСКУЮ СРЕДУ**

*Проектирование и интеграция ШС в среду – это процесс реконструкции ландшафта населенных мест на его различных уровнях, основной целью которой является повышение качественных показателей среды. Поэтому, важно правильно оценить последствия интеграции ШС в городское пространство. Анализ сложившейся ситуации позволяет говорить о существовании общих для всех типов ШС критериях, которые определяют степень интеграции подобных конструкций в среду. Выявление этих критериев позволило бы не только улучшить существующие ШС в городских пространствах, но и усовершенствовать процесс их проектирования. В этой связи в статье рассматриваются основные критерии проектирования и эксплуатации ШС, которые дадут возможность разработать алгоритм их интегрирования в городскую среду и позволят эффективно корректировать существующие ландшафты с использованием объектов шумозащиты.*

**Ключевые слова:** интеграция шумозащитных сооружений, шумозащитные мероприятия, городская среда, ландшафт, реконструкция.

Применение шумозащитных сооружений (ШС) для защиты городских территорий от шума получает все более широкое распространение. Очевидны положительные результаты таких мероприятий. Но имеющийся практический опыт проектирования и эксплуатации ШС в России заставляет обратить внимание на имеющиеся отрицательные моменты с точки зрения их интеграции в городскую среду. Анализ сложившейся ситуации позволяет говорить о существовании общих для всех типов ШС критериях, которые определяют степень интеграции подобных конструкций в среду. Выявление этих критериев позволит не только улучшить существующие ШС в городских пространствах, но и усовершенствовать процесс их проектирования.

К самым явным отрицательным моментам интеграции ШС в среду можно отнести: монотонность протяженных вертикальных конструкций, нарушение масштабности, однородность материалов, монофункциональность, ограниченность в свободе выбора пути движение. Каждая из них влечет за собой соответствующие реакции жителей. И самая отрицательная – это избегание.

Избегание, игнорирование городских территорий всегда сопутствовали жизни города на всех этапах. Для наглядности этого процесса, можно вспомнить исторические особенности освоения территорий для застройки. Первыми осваиваются самые благоприятные для жизни ландшафты, они максимально уплотняются, многократно реконструируются, прежде чем общество обратится к неудобным ландшафтам. Показателен пример застройки Москвы. Городу потребовалось около 120 лет, чтобы приступить к осваиванию заболоченной территории нынешнего района Лужники. Но существует избегание территорий другого уровня. Оно сродни отторжению: территории эксплуатировались, потом по определенным причинам потеряли свои положительные качества и обесценились. Самый яркий пример – полосы отчуждения вдоль рельсовых путей железных дорог. Многие примеры интеграции ШС выявляют поэтапное отторжение и угасание прилегающих к ним территорий. Поэтому важно не превратить полноценные территории вдоль ШС в полосы отчуждения. Для этого целесообразно подвергать любые принимаемые проектные предложения социальной экспертизе. Подобная практика распространена за рубежом, когда любое вмешательство в городскую среду подвергается оценке социальных последствий, ожидаемых от реализации проекта.

Существуют ли методы оценки последствий интеграции ШС в городскую среду? Каким критериям качества должен соответствовать ШС в ландшафте города?

Прежде всего, необходимо осознать, что любые оценки качества городской среды должны осуществляться с позиции системы, а все элементы среды будут ее звеньями. Город всегда находится в движении, это не застывший механизм, а экосистема, находящаяся в постоянном возобновлении циклов, где каждый элемент зависит от других [1].

Существуют показатели качества любой градостроительной формы (по К. Линчу) [2]:

**1. Жизнепригодность** – это степень, до которой интегрированные в городской ландшафт ШС способны поддерживать здоровое существование человека и других обитателей города.

Жизнепригодность напрямую соответствует термину безопасности. Экологической и социальной. Попытаемся перечислить основные наиболее значимые факторы обеспечения пригодности для жизни городского ландшафта:

- 1) Обеспечение проветривания городов и поддержание чистоты;
- 2) Обеспечение нормального температурно-влажностного режима и инсоляции территории;
- 3) Защита от излишних шумов на городских территориях;
- 4) Регулирование поверхностного стока и нормализация уровня грунтовых вод;
- 5) Обеспечение физической безопасности.

ШЭ предназначены для защиты городских территорий от излишних шумов. Это их главное назначение. По своим эксплуатационным характеристикам они являются наиболее эффективным мероприятием по борьбе с шумом. Однако условия их проектирования требуют тщательного градостроительного анализа. Выявление особенностей градостроительного ландшафта позволяет грамотно интегрировать ШС в среду сохранить баланс между всеми выше перечисленными факторами [3].

Другой особенностью интеграции ШС является ограничение по их применению. Происходит наложение функциональной эффективности применения ШС на конкретную градостроительную ситуацию. С наименьшими потерями с точки зрения интеграции такие конструкции применимы в пригородах и на трассах. Яркий тому пример – мероприятия по обеспечению защиты от шума прилегающих территорий 3-го транспортного кольца в г. Москва. В городском же ландшафте конкретная ситуация будет диктовать жесткие условия. Как показала практика, в данном случае применение ШС возможно в тандеме с градостроительной реконструкцией территории.

**2. Осмысленность** – это степень, до которой жители города способны ясно воспринимать, мысленно расчленять и структурировать во времени и пространстве систему шумозащитных мероприятий и сооружений.

Существует несколько тезисов осмысленности: узнаваемость, структурность, читаемость.

«Самой простой разновидностью осмысленности городского ландшафта является простое узнавание, «чувство места». Это возможность отличить, вспомнить его по каким-то определенным признакам, назвать уникальную или хотя бы особенную черту» [4]. **Узнаваемость места** возможно анализировать на основе системы тестов и опросов горожан. Т.о., прежде, чем делать практические предложения по благоустройству территорий, необходимо понять и оценить смысл и содержание пространства, как это место трансформировалось во времени, чем оно живет сейчас.

**Структурность** позволяет человеку уяснить пространственную форму и ориентацию в ней. Для человека решающими являются определение направления и смысла его движения в городском пространстве. ШС могут как помочь человеку, создав систему ориентиров и рационализировав городской ландшафт, так и полностью дезориентировать его монотонность и максимальной степенью изоляции.

**Читаемость пространства** определяется степенью открытости и «прозрачности» среды. Ландшафт города интересен человеку, когда он наполняется для него определенным зна-

чением. Присутствие людей, одномоментные «события», новая визуальная информация делает городское пространство «живым», наполненным смыслом. Интеграция ШС с точки зрения «прозрачности» должна не только обеспечивать визуальную связь с территорией «по ту сторону», но и приносить утилитарный смысл. С этой точки зрения возможно совмещение торговых, рекламных, образовательных функций и отдыха с функцией защиты, что позволит наполнить городские территории новым смыслом.

**3. Соответствие** – степень, до которой форма ШС и ёмкость образованного ими пространства, коммуникационные параметры отвечают структуре и объёму функций, в которые вовлечены жители.

Любое ландшафтное пространство должно соответствовать тем функциональным процессам, для которых оно предназначено. Из этого очевидно, что любой объект ландшафта должен нести соответствующие ему функции. С этой точки зрения, ШС как объект ландшафта, должен, прежде всего, удовлетворять двум требованиям: непосредственная защита территорий от шума и обеспечивать соответствующую городской среде степень интеграции.

Первое требование выполняется при проектировании ШС методом расчета акустических параметров. Это количественные показатели, определяющие соответствие ШС акустической обстановке. Назначается высота, протяженность, геометрический вид ШС. Однако, как показывает практика, средовые параметры вносят свои коррективы в эксплуатационные характеристики. Показателен пример исследования Маркова С.Б. [5] Игнорирование градостроительных и климатических параметров существенно снижает акустические свойства ШС.

Второе требование (степень интеграции ШС в среду) не может быть выражением цифровым, которое всегда удобнее и практичнее. Этот показатель – соответствие поведению человека, соответствие понятию комфорта.

Существует два способа определения меры соответствия. Первый – наблюдать, как ведут себя люди в конкретном городском пространстве, насколько предполагаемые удобства соответствуют характеру поведения людей. Этот способ скорее вскрывает недостатки, чем обнаруживает достоинства места. Второй способ предполагает опрос самих потребителей. На основе анкетного опроса выясняются причины неудовлетворенности местом. В процессе первого и второго способов возможно зафиксировать меру несоответствия ландшафтного пространства. Эти способы применимы для оценки конкретной градостроительной ситуации с ШС. В случае же нового проектирования необходимо сразу предусматривать и нивелировать возможные несоответствия. Существуют три аспекта соответствия:

- пространственно-антропометрический; ШС должны соответствовать физиологическим возможностям человека.
- планировочный;
- психолого-поведенческий; ШС должны служить правильно сформированной программе форм поведения человека в конкретной градостроительной ситуации.

**4. Доступность** – способность достичь других лиц, видов деятельности, информации или места – с учетом количества и многообразия достижимых элементов.

Такой критерий среды, как доступность является одним из стратегических в определении комфорта проживания. С этой точки зрения ШС являются барьером, значительно ограничивая возможность беспрепятственного движения на территории города. Анализируя имеющийся опыт проектирования, можно утверждать, что четкое определение объекта защиты и сложившейся градостроительной ситуации позволяют найти наиболее рациональное решение этого условия проектирования ШС.

**5. Эффективность** – цена создания и поддержания искусственного ландшафта на определенном уровне качества. Это показатель сравнения затрат с ожидаемым результатом. Ландшафтные объекты в этом смысле всегда принято считать убыточными. К тому же входящие в расчет ценности сложно измерить непосредственно: хорошее настроение, самочувствие людей и

т.д. Разумное соотношение затрат на создание и поддержание объектов шумозащиты в процессе эксплуатации будет способствовать повышению его эффективности.

Проектирование ШС – это процесс реконструкции ландшафта на различных уровнях. В связи с этим, выявленные критерии проектирования и эксплуатации ШС помогут разработать алгоритм их интегрирования в городскую среду и позволят корректировать существующие ландшафты с использованием объектов шумозащиты. Любое вмешательство в городскую ткань должно быть обосновано и целесообразно, потому что отношения человек-среда носят двусторонний характер: мы формируем среду – среда формирует нас. Насколько эстетична, интересна и многообразна будет городская среда, таким будет стиль городской жизни.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волчкова, И.М. Город как сосредоточие коммуникаций [Текст] / И.М. Волчкова, Э.А. Лазарева, А.А. Чуваркин. – Екатеринбург: Архитектон, 2009. – 300 с.
2. Линч, К. Совершенная форма в градостроительстве [Текст] / К. Линч. – М: Стройиздат, 1986. – 264 с.
3. Шубин, И.Л. Интеграция шумозащитных барьеров в окружающую среду [Текст] / И.Л. Шубин, Н.Е. Щурова // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – №6. – С. 19-23.
4. Анисимова, Л.В. Определение критериев качества среды городского ландшафта [Текст] / Л.В. Анисимова, Ю.В. Анисимов // Менеджмент экологии: Тезисы докладов региональной научно-практической конференции. Вологда: ВоГТУ, 1999. – С. 181-183.
5. Марков, С.Б. Влияние местных условий на определение эффективности шумозащитных экранов на месте их установки [Текст] / С.Б. Марков // III Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия». – 2011. – С. 345-352.

### **Гребенкин Александр Михайлович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Тел.: +7 (915) 679 39 45  
E-mail: mr\_hant@mail.ru

### **Гребенкин Екатерина Владимировна**

Тамбовский государственный технический университет, г. Тамбов  
Тел.: +7(960) 666 66 76  
E-mail: mr\_hant@mail.ru

### **Шубин Игорь Любимович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Доктор технических наук

---

A. GREBENKIN, E. GREBENKIN, I. SHUBIN

## **CRITERIA FOR ASSESSING THE EFFECTS OF INTEGRATION OF NOISE PROTECTION STRUCTURES IN THE URBAN ENVIRONMENT**

*Design and integration of noise protection structures in the environment - is the process of reconstruction of landscape of populated areas at its various levels, whose main purpose is improvement of the quality parameters of the medium. Therefore, it is important to assess the impact of the integration of noise protection structures in urban space. An analysis of the situation allows to speak about the existence of common for all types of anti-noise facilities criteria that define the degree of integration of such structures in the environment. Identification of these criteria would not only improve the existing anti-noise facilities in the urban space, but also to improve design process. In this regard, the article discusses the main design criteria and using of noise protection structures, which gives a possibility to*

*obtain an algorithm of integration into the urban environment, and allows adjust the existing landscape with noise protection facilities effectively.*

**Keywords:** *integration of noise protection structures, noise-reducing activities, urban environment, landscape, reconstruction.*

## BIBLIOGRAPHY

1. Volchkova, I.M. Gorod kak sosredotochie kommunikacij [Tekst] / I.M. Volchkova, Je.A. Lazareva, A.A. Chuvarkin. – Ekaterinburg: Arhitekton, 2009. – 300 s.
2. Lynch, K. Sovershennaja forma v gradostroitel'stve [Tekst] / K. Lynch. – M: Strojizdat, 1986. – 264 s.
3. Shubin, I.L. Integracija shumozashhitnyh bar'erov v okružhajushhuju sredu [Tekst] / I.L. Shubin, N.E. Shhurova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2010. – №6. – S. 19-23.
4. Anisimova, L.V. Opredelenie kriteriev kachestva sredy gorodskogo landshafta [Tekst] / L.V. Anisimova, Ju.V. Anisimov // Menedzhment jekologii: Tezisy dokladov regional'noj nauchno-prakticheskoj konferencii. Vologda: VoGTU, 1999. – S. 181-183.
5. Markov, S.B. Vlijanie mestnyh uslovij na opredelenie jeffektivnosti shumozashhitnyh jekranov na meste ih ustanovki [Tekst] / S.B. Markov // III Vserossijskaja nauchno-praktičeskaja konferencija s mezhdunarodnym uchastiem «Zashhita naselenija ot povyšennogo shumovogo vozdejstvija». – 2011. – S. 345-352.

### A. Grebenkin

Research Institute of building physics of the Russian Academy of architecture and construction Sciences, Moscow  
Ph.: +7 (915) 679 39 45  
E-mail: mr\_hant@mail.ru

### E. Grebenkina

Tambov state technical University, Tambov  
Ph.: +7(960) 666 66 76  
E-mail: mr\_hant@mail.ru

### I. Shubin

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences

ЗЕМЦОВ В.А.

## МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЕСТЕСТВЕННОГО ОСВЕЩЕНИЯ ПОМЕЩЕНИЙ СО СВЕТОВЫМИ КОНДИЦИОНЕРАМИ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОНАРЕЙ

*При расчете естественного освещения от системы шахтных фонарей, наиболее сложным и трудоемким является определение коэффициента естественной освещенности от световых шахт (то есть без учета поправочных коэффициентов на переплеты и остекление, загрязнение стекла и отражающих свойств внутренних поверхностей помещений), зависящего только от геометрических размеров шахт и отражающих свойств их стенок при пасмурном небе МКО. Учитывая относительную схожесть по светотехническим характеристикам источников искусственного света со световодами и шахтными фонарями и необходимость их совместной работы в световом кондиционере разработан метод расчета естественного освещения с использованием пространственных характеристик. К ним в первую очередь относятся световой профиль светопровода (шахтные фонари, световоды), относительное значение КЕО световода, пространственные изолинии КЕО световода. Инженерные методы расчета с использованием пространственных характеристик позволяют быстро и с достаточной точностью определять значения КЕО в расчетных точках помещения со световыми кондиционерами.*

**Ключевые слова:** световые кондиционеры, световоды, естественное освещение.

Световые кондиционеры представляют собой систему освещения, состоящую из естественного источника света, которым является световод или шахтный фонарь и из источника искусственного света, которым является светильник или группа светильников, обеспечивающих дополнительное к естественному свету, в случае необходимости, искусственное освещение.

В практике расчета искусственного освещения широко используются пространственные характеристики источников света и светильников. К таким характеристикам можно отнести пространственные кривые равных значений горизонтальной освещенности, пространственные кривые равной относительной освещенности для несимметричного светильника, изолюксы на условной плоскости и другие.

Учитывая относительную схожесть по светотехническим характеристикам источников искусственного света со световодами и шахтными фонарями и необходимость их совместной работы в световом кондиционере возникает потребность в разработке и методов расчета естественного освещения с использованием пространственных характеристик. К ним в первую очередь необходимо отнести световой профиль светопровода (шахтные фонари, световоды), относительное значение КЕО световода, пространственных изолиний КЕО световода.

Применительно к верхнему естественному освещению помещения через шахтные фонари, коэффициент естественной освещенности в расчетной точке  $e_p^e$  может быть выражен следующей формулой:

$$e_p^e = [\Sigma \varepsilon_{ш} + \varepsilon_{ср} (r_2 - 1)] K, \quad (1)$$

где  $\Sigma \varepsilon_{ш}$  – значение КЕО от системы световых шахт зенитных фонарей в расчетной точке помещения без учета потерь света в заполнении фонарей и отраженных световых потоках от поверхностей помещения (пола, стен, потолка);  $\varepsilon_{ср}$  – среднее значение КЕО от системы световых шахт на линии пересечения условной рабочей поверхности и плоскости характерного вертикального разреза помещения, определяемое из соотношения:

$$\varepsilon_{ср} = (\Sigma \varepsilon_{ш1} + \Sigma \varepsilon_{ш2} + \Sigma \varepsilon_{ш3} + \Sigma \varepsilon_{ш4} + \dots + \Sigma \varepsilon_{шN}) / N. \quad (2)$$

$N$  – количество расчетных точек,  $\Sigma \varepsilon_{ш1} \cdot \Sigma \varepsilon_{ш2} \cdot \Sigma \varepsilon_{ш3} \dots \Sigma \varepsilon_{шN}$  – значения КЕО в расчетных точках от системы световых шахт);  $r_2$  – коэффициент, учитывающий повышение КЕО при верхнем освещении благодаря свету, отраженному от поверхностей помещения;  $K$  – расчетное значение поправочного коэффициента, учитывающего потери света в заполнении фонаря.

Коэффициенты  $r_2$  и  $K$  определяются по соответствующим таблицам СП 23-102-2003 [1] и СНиП 23-05-95\* [2], поэтому задача сводится к определению коэффициента естественной освещенности от системы световых шахт фонарей в расчетных точках характерного разреза помещения.

Решение этой задачи удобно разбить на два этапа:

- определение КЕО от одной шахты ( $\epsilon_{ш}$ ) как элемента системы.

- определение КЕО от системы световых шахт ( $\Sigma\epsilon_{ш}$ ) в каждой из расчетных точек помещения.

Значение коэффициента  $\epsilon_{ш}$  определим, исходя из следующих соображений.

На входное основание  $S_{вх}$  фонаря от равнояркой полусферы небосвода поступает световой поток  $\Phi_0$ . На выходное основание  $S_{вых}$  шахты поступает лишь часть светового потока  $\Phi$ , величина которого зависит от коэффициента светопередачи  $K_{п}$  шахты.

$$\Phi = \Phi_0 K_{п}. \quad (3)$$

Выразим световой поток  $\Phi_0$  через наружную освещенность  $E_n$ :

$$\Phi_0 = E_n \cdot S_{вх}. \quad (4)$$

Световой поток, поступающий на выходное основание световой шахты в этом случае будет равен:

$$\Phi = E_n \cdot S_{вх} \cdot K_{п}. \quad (5)$$

Расчетный коэффициент в любой точке помещения представляет собой отношение освещенности  $E_m$  в данной точке к наружной освещенности  $E_n$ , выраженный в процентах без учета отражающих свойств внутренних поверхностей помещения и коэффициента пропуска света прозрачного ограждения фонаря.

$$\epsilon_{ш} = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100\%. \quad (6)$$

Так как  $\epsilon_{ш}$  представляет собой относительную величину, не зависящую от величины наружной освещенности  $E_n$ , то для определения расчетного коэффициента необходимо определить лишь величину освещенности  $E_m$  в точке  $M$  помещения при заданной  $E_n$ .

Выходное основание шахты в практических целях можно принять за точечный источник.

Максимальная величина относительной погрешности согласно [3] не превышает 9% из расчета устройства фонарей 6×3 метров (максимальный размер в свету 5,8 м) в помещениях высотой 10,8 м.

Замена светящей поверхности (выходного основания шахты) на точечный источник значительно упрощает вывод формулы КЕО от шахты фонаря.

Для точечного источника с произвольной индикатрисой светораспределения  $f(\alpha)$  величина освещенности, создаваемой им в любой точке  $M$  помещения, будет равна:

$$E_m = \frac{J_\alpha \cdot \cos^3 \alpha}{H^2}. \quad (7)$$

Зная индикатрису рассеяния источника (в нашем случае выходного основания световой шахты фонаря) и его световой поток, можно определить силу света в заданном направлении.

$$J_\alpha = \frac{\Phi}{\Omega} \cdot f(\alpha) = \frac{E_n S_{вх} K_{п} f(\alpha)}{\Omega}, \quad (8)$$

где  $\Omega = \int_0^\pi f(\alpha) d\omega$  – эквивалентный телесный угол, т.е. телесный угол, в котором распростра-

нялся бы весь поток  $\Phi$  источника, если бы сила света была  $J_\alpha = \frac{\Phi}{\Omega} \cdot f(\alpha) = \frac{E_n S_{вх} K_{п} f(\alpha)}{\Omega}_0$  (сила света источника в направлении, принятом за основание) по всем направлениям внутри этого угла. Значения  $f(\alpha)$  и  $\Omega$  у несимметричных источников должны быть определены с учетом положения плоскости, проходящей через фотометрическую ось, в которой идет рассматриваемый луч, и будут функциями обоих углов  $f(\alpha)$  и  $\Omega(\alpha, \nu)$ ;  $d\omega$  – элементарный телесный угол, в пределах которого относительная сила света источника является постоянной величиной.

Если не представляется возможным выразить функцию  $f(\alpha)$  в виде математического уравнения, то интегрирование заменяется суммированием относительных величин силы света для конечных зон, т.е.:

$$\Omega = \Sigma f(\alpha)_{cp} \Delta\omega. \quad (9)$$

где  $f(\alpha)$  – относительная сила света для середины зоны  $\alpha_1-\alpha_2$ ;  $\Delta\omega = 2\pi(\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$  – телесный угол рассматриваемой зоны.

При вычислении эквивалентного телесного угла все пространство, окружающее выходное отверстие световой шахты (полусферу), можно разбить на 9 зон, границы которых образуют угол  $0^\circ, 10^\circ, 20^\circ$  и т.д. с осью симметрии световой шахты. Тогда относительные значения силы света берутся для середины каждой из зон, т.е. соответственно для направлений  $5^\circ, 15^\circ, 25^\circ$  и т.д.

Подставляя в формулу (6) значения внутренней освещенности (7) с учетом (8) определим расчетный коэффициент  $\epsilon_{ш}$  естественной освещенности:

$$\epsilon_{ш} = \frac{E_m}{E_n} \cdot 100\% = \frac{J\alpha \cdot \cos^3\alpha \cdot 100}{E_n H^2} = \frac{S_{вх} \cdot K_n \cdot \cos^3\alpha \cdot 100}{\Omega H^2} \cdot f(\alpha). \quad (10)$$

В формулу (10) необходимо ввести поправочный множитель  $q(\alpha)$ , позволяющий сделать переход от равномерного неба к небосводу с неравномерной яркостью, изменяющийся по закону:

$$q(\alpha) = \frac{3}{7}(1 + 2\cos\alpha). \quad (11)$$

где  $\alpha$  – угол между прямой, соединяющей расчетную точку с центром источника (выходного основания светопроводной шахты), и нормалью к выходному основанию светопроводной шахты.

В этом случае формула (10) примет вид:

$$\epsilon_{ш} = \frac{S_{вх} \cdot K_n \cdot \cos^3\alpha \cdot q(\alpha) \cdot 100}{\Omega H^2} \cdot f(\alpha). \quad (12)$$

где  $K_n$  – коэффициент светопередачи светопроводной шахты, определяемый для фонарей с диффузным отражением стенок по рисунку 12, а для фонарей с направленным отражением стенок – по рисунку 13 по значению индекса светового проема шахтного фонаря  $\beta_3$  по [1];  $\beta_3$  – индекс квадратной шахты  $a \times b \times h$ , определяемый по формуле:

$$\beta_3 = \frac{2ab}{\sqrt{\pi h(a+b)}}. \quad (13)$$

$f(\alpha)$  – индикатриса рассеяния силы света выходного отверстия  $S_{вых}$  шахты фонаря:

$$f(\alpha) = \cos^{\frac{2}{K_n}-1} \alpha. \quad (14)$$

$\Omega_{вых}$  – эквивалентный телесный угол индикатрисы выходного отверстия шахты можно выразить аналогично через эквивалентный телесный угол входного основания:

$$\Omega_{вых} = \Omega_{вх} \cdot K_n = \pi \times K_n. \quad (15)$$

При расчете естественного освещения от системы шахтных фонарей, наиболее сложным и трудоемким является определение коэффициента естественной освещенности от световых шахт (т.е. без учета поправочных коэффициентов на переплеты и остекление, загрязнение стекла и отражающих свойств внутренних поверхностей помещений), зависящего только от геометрических размеров шахт и отражающих свойств их стенок при пасмурном небе МКО.

Определение аналогичного коэффициента в помещении с прямоугольными световыми и светоаэрационными фонарями (геометрического КЕО с учетом неравномерной яркости неба) осуществляется с помощью светового профиля фонаря.

Световой профиль фонаря представляет собой зависимость геометрического КЕО от расстояния между расчетной точкой и проекцией продольной оси фонаря на расчетную плоскость при заданной высоте помещения. Применение светового профиля при расчете КЕО большого числа помещений с неизменной высотой значительно сокращает проектирование естественного освещения.

Расчет геометрического КЕО с учетом неравномерной яркости неба от системы зенитных фонарей может быть выполнен аналогичным приемом с той разницей, что световой профиль строится для продольного ряда фонарей.

В том и другом случае световой профиль рассчитывается с помощью графика Данилюка.

Шахтные фонари по своим светотехническим свойствам отличаются от зенитных фонарей. В этом случае геометрический КЕО необходимо определять совместно с долей КЕО, создаваемой световым потоком и потоками, отраженными от стенок шахты, то есть определять коэффициент естественной освещенности от шахты фонаря,  $\epsilon_{ш}$ .

Таким образом, понятие «световой профиль» шахтного фонаря отличается от светового профиля прямоугольного фонаря или ряда зенитных фонарей, и рассчитать его можно лишь для одного фонаря.

В связи с этим в работе предлагается ряд новых инженерных приемов расчета естественного освещения помещений с шахтными фонарями.

Коэффициент естественной освещенности от системы шахт  $\Sigma\epsilon_{ш}$  круглой или квадратной в плане формы можно рассчитать с помощью светового профиля шахты фонаря, который представляет собой зависимость расчетных значений КЕО шахты  $\epsilon_{ш}$  от расстояния  $d$  между расчетной точкой и проекцией центра выходного основания шахты на расчетную плоскость при заданной высоте помещения от выходного основания шахты до условной рабочей плоскости,  $H$ .

Расчет светового профиля выполняется по формуле (12). Зависимость строится в прямоугольной системе координат. Масштаб расстояния  $d$  и расчетных значений КЕО шахты  $\epsilon_{ш}$  принимается произвольно удобным для чтения. Для повышения точности расчета часть кривой строится в увеличенном масштабе для расчетных значений КЕО от шахты (правая шкала  $\epsilon_{ш}$ ), а шкала расстояний поворачивается обратно с целью уменьшения протяженности графика. Начало отсчета расстояний по правой шкале соответствует конечному значению расстояний по левой шкале.

В качестве примера на рисунке 1 показан световой профиль шахты фонаря направленного света квадратной формы в плане  $2,4 \times 2,4$  м глубиной 3,8 м и для высоты помещения 10 метров.

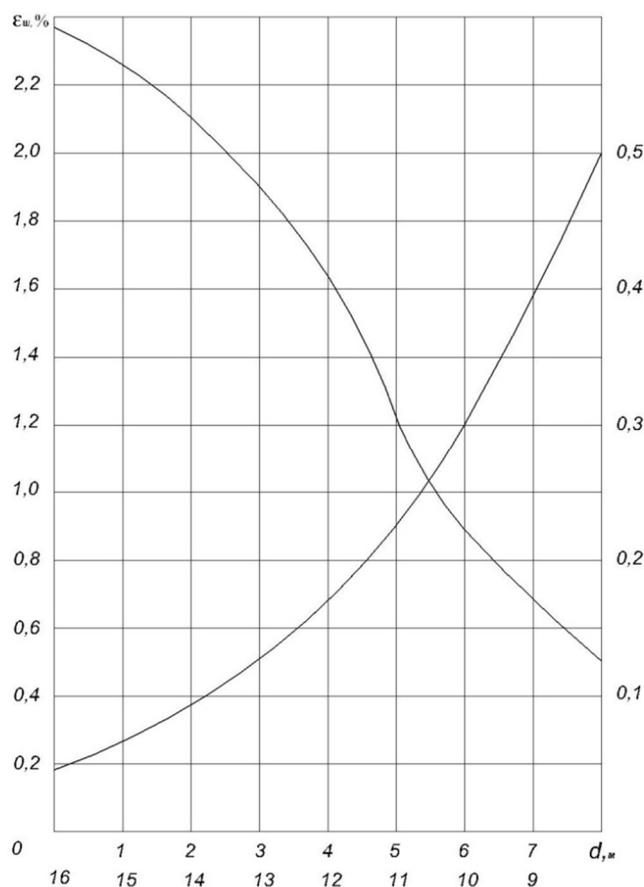


Рисунок 1 – Световой профиль шахты направленного света глубиной 3,8 м и размерами в плане  $2,4 \times 2,4$  м для помещения высотой 10 метров

В таблице 1 представлен порядок расчета КЕО шахты по формуле (12).

Таблица 1 – Фрагмент расчета значений КЕО от шахты направленного света 2,4×2,4×3,8 метров для построения светового профиля

<i>K</i>	<i>H</i> , м	<i>H</i> <sup>2</sup> , м <sup>2</sup>	<i>d</i> , м	tg α	α°	<i>f</i> (α)	Cos α	Cos <sup>3</sup> α	q(α)	ε <sub>ш</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
184	10,0	100,0	0,0	0,0	0°0	1,00	1,00	1,0	1,29	2,36
“-	“-	“-	3,0	0,29	16°12	0,95	0,96	0,69	1,24	1,89
“-	“-	“-	6,0	0,59	30°42	0,69	0,86	0,63	1,16	0,91
“-	“-	“-	9,0	0,89	41°42	0,52	0,74	0,41	1,06	0,41
184	10,0	100,0	12,0	1,19	48°12	0,37	0,67	0,23	1,00	0,20

Для расчета значений КЕО от шахты, с целью построения ее светового профиля, удобно задаваться расстояниями *d* от проекции центра выходного основания шахты на условную расчетную плоскость. Практика построения графиков показывает, что оптимальный шаг расчетных точек составляет 3,0 м. Часть формулы (12):

$$\frac{S_{\text{вх}} \cdot K_{\text{п}} \cdot 100}{\Omega H^2} = K \tag{16}$$

для данного фонаря и заданной высоты помещения является постоянной величиной и, с целью сокращения расчетной таблицы, вычисляется отдельно и заносится в соответствующий ее столбец.

Порядок расчета коэффициента естественной освещенности от системы шахт с помощью светового профиля следующий.

1. По плану раскладки шахтных фонарей определяется расстояние *d* от расчетной точки до центра каждого из фонарей системы.
2. По графику для соответствующих расстояний определяются значения КЕО шахты ε<sub>ш</sub>.
3. Значения ε<sub>ш</sub> суммируются.

Единственным недостатком описанного метода является невозможность его использования для разных высот помещений.

Второй прием расчета коэффициента естественной освещенности от световых шахтных фонарей аналогичен приему с использованием кривых относительной освещенности при расчете искусственного освещения, предложенному Р.А. Сапожниковым [4].

Представим формулу (12) в виде:

$$\epsilon_{\text{ш}} = \frac{S_{\text{вх}} \cdot K_{\text{п}} \cdot \cos^3 \alpha \cdot q(\alpha) \cdot 100 \cdot f(\alpha) \cdot \frac{1}{\Omega}}{H^2} \tag{17}$$

Здесь числитель зависит только от угла α, поэтому его так же, как индикатрису, можно считать характеристикой световой шахты. Численное значение числителя равно коэффициенту естественной освещенности от шахты при высоте *H* равной 1 м. Назовем его относительным КЕО от шахты, ε<sub>0</sub>.

С учетом сказанного:

$$\epsilon_0 = \frac{S_{\text{вх}} \cdot K_{\text{п}} \cdot \cos^3 \alpha \cdot q(\alpha) \cdot 100}{\Omega} \cdot f(\alpha) \tag{18}$$

Относительный КЕО от шахты – величина, характеризующая данный тип шахтного фонаря и не зависящая от расстояния расчетной точки до его выходного основания; этой величине пропорционален коэффициент естественной освещенности на условной рабочей плоскости, перпендикулярной фотометрической оси источника с учетом неравномерности яркости неба.

Зная относительный КЕО, легко можно определить КЕО от шахты реального помещения с заданной высотой:

$$\epsilon_{\text{ш}} = \frac{\epsilon_0}{H^2} \tag{19}$$

Относительный коэффициент естественной освещенности от шахты представляется графически в прямоугольных координатах, при этом его значения откладываются на оси ординат, а по оси абсцисс отношение *d/H* до величины равной единице (рис. 2), далее – *H/d*.

Такой прием графического представления значительно расширяет предел шкалы по оси абсцисс без увеличения ее протяженности.

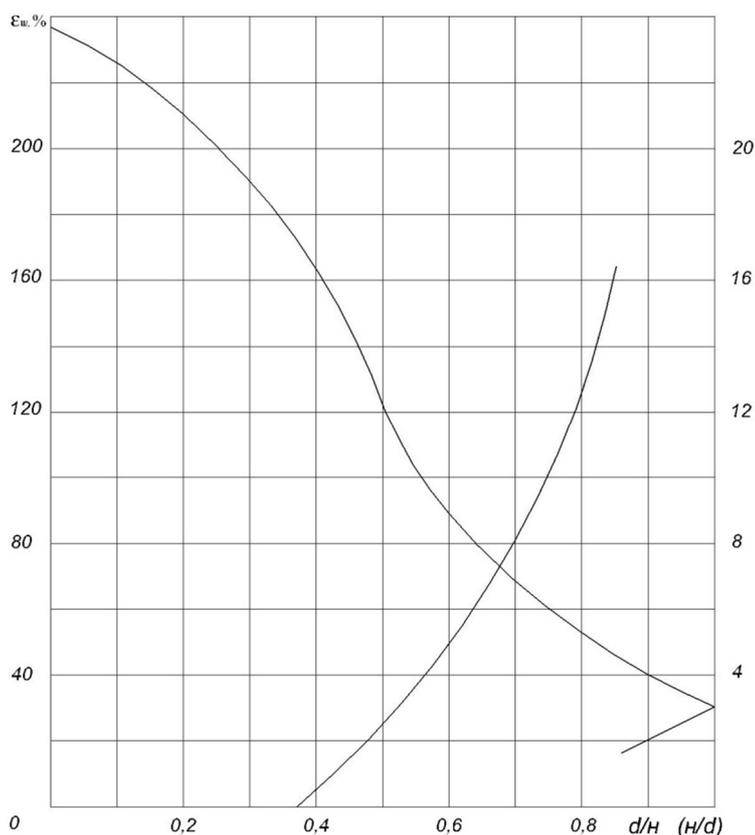


Рисунок 2 – Кривая относительного КЕО от шахты направленного света глубиной 3,8 м и размерами в плане 2,4×2,4 м

Нижняя ветвь кривой относительного КЕО или часть ее, для более точного отсчета, изображается в увеличенном масштабе.

В таблице 2 представлен фрагмент расчета относительного КЕО. При расчете в качестве аргумента принимается угол  $\alpha$ , отсчитываемый от фотометрической оси шахты с вершиной в центре ее выходного отверстия. Угол  $\alpha$  принимается с интервалом через  $5^\circ$  для верхней и через  $10^\circ$  для нижней ветви кривой.

Таблица 2 – Фрагмент расчета относительных значений КЕО от шахты направленного света, имеющей размеры 2,4×2,4×3,8 м

№№ точек	$K = \frac{S_{\text{вх}} \cdot K_{\text{п}} \cdot 100}{\Omega}$	$\alpha^0$	$\text{tg } \alpha$	$\text{ctg } \alpha$	$\text{Cos } \alpha$	$\text{Cos}^3 \alpha$	$q(\alpha)$	$f(\alpha)$	$\epsilon_0$
1	184	0	0,000	-	1,000	1,000	1,29	1,00	236
2	"	5	0,098	-	0,996	0,989	1,28	0,99	231
3	"	10	0,176	-	0,985	0,955	1,27	0,96	214
10	"	45	1,000	1,000	0,707	0,353	1,035	0,43	28,9
11	"	50	-	0,839	0,643	0,266	0,98	0,34	16,3
12	"	60	-	0,577	0,500	0,125	0,86	0,18	3,5
13	184	70	-	0,364	0,342	0,040	0,72	0,08	0,4

Расчет коэффициента естественной освещенности системы шахт с использованием кривых относительного КЕО следующий:

- согласно плану раскладки шахтных фонарей на кровле определяется расстояние  $d$  от расчетной точки до каждого из центров фонарей системы (рис. 3).

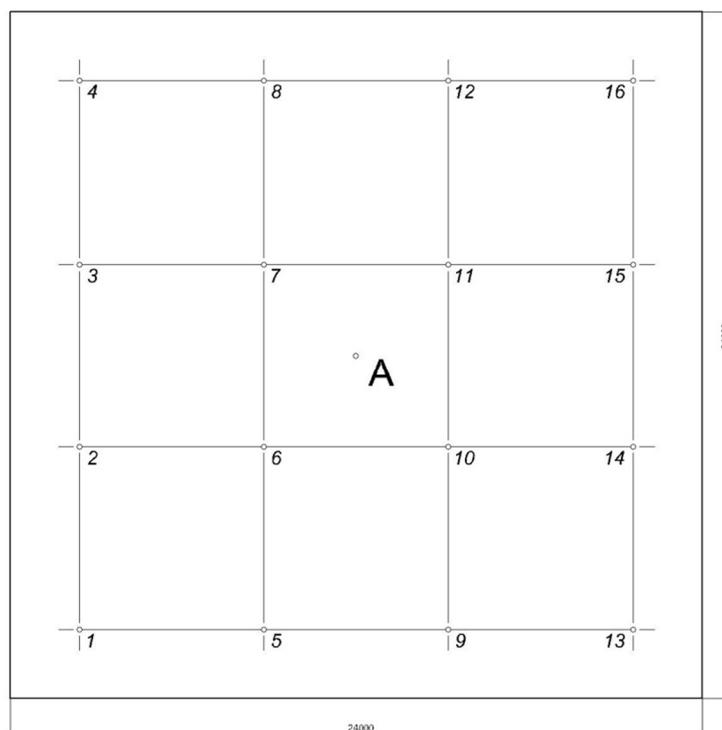


Рисунок 3 – Сетка центров световых шахт на плане кровли помещения 24×24,5 м. 1, 2, ... 16 – номера фонарей; А – расчетная точка

- определяется  $tq\alpha = d/H$  (при  $d \leq H$ ) и  $ctq \alpha = d/H$  (при  $d \geq H$ );
- по графику для соответствующих значений аргумента определяется величина КЕО от шахт в расчетной точке,  $\Sigma \epsilon_0$ ;
- определяется суммарная величина  $\Sigma \epsilon_0$  путем суммирования относительных КЕО от шахт системы;
- рассчитывается КЕО от шахт системы делением  $\Sigma \epsilon_0$  на квадрат высоты до условной рабочей плоскости.

Расчет целесообразно вести в табличной форме, фрагмент которой представлен ниже (табл. 3).

Таблица 3 – Фрагмент расчета КЕО от системы шахт 2,4×2,4×3,8 метров и направленного света для помещения с высотой 10 м

Расч. точки	№№ фонарей по рис. 3									$\Sigma \epsilon_0$	$\Sigma \epsilon_{ш}$
	Показатели	1	2	3	4	.5.	14	15	16		
A	d, м	12,7	9,4	9,4	12,7	...	9,4	9,4	12,7		
	d/H	-	0,94	0,94	-	...	0,94	0,94	-		
	H/d	0,79	-	-	0,79	...	-	-	0,79		
	$\epsilon_0$	12,6	36	36	12,5	...	36	36	12,5	918	9,18

Инженерные методы расчета с использованием вспомогательных графиков, позволяют быстро и с достаточной точностью определять значения КЕО в расчетных точках помещения. Основой построения графиков является формула (12).

Методы расчета естественного освещения являются унифицированными для верхней системы с применением как шахтных, так и зенитных фонарей диффузного и направленного отражения, так как основой его является коэффициент светопередачи, определяемый для любых геометрических пропорций проемов и вида отражения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 23-102-2003. Естественное освещение жилых и общественных зданий [Текст].
2. СП 52.13330.2011. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95\* [Текст].
3. Мешков, В.В. Осветительные установки [Текст] / В.В. Мешков, М.М. Епанешников. – М.: Энергия, 1972.
4. Сапожников, Р.А. Теоретическая фотометрия [Текст] / Р.А. Сапожников. – М.: Энергия, 1977.

### **Земцов Виктор Андреевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук

Тел.: +7 916 793 45 87

E-mail: ins-es@yandex.ru

---

V. ZEMTSOV

## **METHODS OF CALCULATION OF NATURAL LIGHTING AREAS WITH LIGHT AIR-CONDITIONING ON THE BASIS OF SPATIAL CHARACTERISTICS OF LIGHTS**

*In the calculation of natural lighting from the mine lamps, the most difficult and time consuming process is determination the coefficient of natural light from the light wells (ie, excluding adjustment factors of bindings and windows, dirty glass and reflective properties of the internal surfaces of the rooms), depending only on the geometry of mines and the reflection properties of the walls in cloudy sky ICE. Given the similarity of the lighting characteristics of artificial light sources with optical fiber and mine lamps, and the need for them work together in a lights-conditioner it is developed a method to calculate the natural light with using of spatial characteristics. These primarily include light profile of light guide (mine lamps, optical fibers), the relative natural lighting factor value of the optical fiber, spatial contours of the natural lighting factor optical fiber. Engineering methods of calculation using spatial characteristics allow to determine the value of the natural lighting factor in reference points of room with lights-conditioner quickly and with sufficient accuracy.*

**Keywords:** light conditioners, skylights, natural lighting.

## **BIBLIOGRAPHY**

1. SP 23-102-2003. Estestvennoe osveshhenie zhilyh i obshhestvennyh zdaniy [Tekst].
2. SP 52.13330.2011. Estestvennoe i iskusstvennoe osveshhenie. Aktualizirovannaja redakcija SNiP 23-05-95\* [Tekst].
3. Meshkov, V.V. Osvetitel'nye ustanovki [Tekst] / V.V. Meshkov, M.M. Epaneshnikov. – М.: Jenergija, 1972.
4. Sapozhnikov, R.A. Teoreticheskaja fotometrija [Tekst] / R.A. Sapozhnikov. – М.: Jenergija, 1977.

### **V. Zemtsov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow

Candidate of technical sciences

Ph.: +7 916 793 45 87

E-mail: ins-es@yandex.ru

ЛАНЭ М.Ю., КРАВЧУН П.Н.

## О ПРИМЕНЕНИИ РАЗНЫХ ТИПОВ ИСПЫТАТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ПРИ АКУСТИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЯХ В ЗРЕЛИЩНЫХ ЗАЛАХ

*Представлены результаты экспериментального исследования возможности применения разных типов испытательных сигналов для определения акустических параметров залов. Измерения были выполнены в недавно открытом новом органном зале «Родина» в Челябинске. Они проводились как в пустом зале, так и при его полном заполнении публикой. Установлено, что помимо традиционно используемых псевдослучайных последовательностей максимальной длины и пистолетных выстрелов для определения времени реверберации могут быть использованы резко обрывающиеся органные аккорды. В ходе работы было также установлено хорошее совпадение значений времени реверберации зала с публикой, измеренных в готовом помещении и вычисленных на компьютерной модели в ходе акустического проектирования.*

**Ключевые слова:** архитектурная акустика, время реверберации, органный зал, акустические измерения.

Импульсная переходная характеристика (ИПХ) помещения для фиксированных положений источника и приемника звука представляет собой точную величину, на основании которой определяются как время реверберации ( $RT$ ), так и другие (дополнительные) критерии акустического качества. Для измерений ИПХ могут быть использованы: кратковременные импульсные сигналы (пистолетные выстрелы, искровые разряды, взрывы при разрыве тонких оболочек); детерминированные сигналы с широкополосным спектром типа синусоидального колебания с линейной частотной модуляцией, а также широкополосные псевдослучайные последовательности максимальной длины ( $MLS$ -сигналы). Действующий стандарт ГОСТ Р ИСО 3383-1-2013 оговаривает возможность применения указанных испытательных сигналов и не исключает использования других. В качестве последних могут быть использованы, в частности, натуральные музыкальные звучания.

В реальной практике выбор испытательного сигнала часто определяется конкретными условиями проведения измерений, что особенно характерно для измерений в присутствии публики. При этом для получения корректных результатов надо быть уверенным, что выбор конкретного испытательного сигнала обеспечит получение точных результатов. Сравнение методов измерений времени реверберации в пустых залах ( $RT_{UNOCC}$ ) с использованием пистолетных выстрелов и  $MLS$ -сигналов проводилось неоднократно [1] и подтвердило возможность применения обоих этих сигналов. Применительно к применению натуральных звучаний и измерениям в залах с публикой подобные исследования детально не проводились.

В конце 2014 г. было закончено сооружение нового органного зала в Челябинске. Тогда авторам данной статьи, разработавшим акустическое решение зала, представилась возможность выполнить измерения как в пустом зале, так и при полном заполнении его публикой. Измерения были проведены с применением трех типов испытательных сигналов, что позволило сравнить значения акустических показателей, полученных с их использованием. Полученные результаты и составляют предмет настоящей публикации.

Новый органный зал размещается в отдельно стоящем здании бывшего кинотеатра, которое было полностью реконструировано с увеличением его высоты, что было обусловлено требованиями к акустике помещения [2]. На рисунке 1, 2 показаны фотографии помещения. Все зрительские места ( $N=320$  кресел) размещаются в партере, который с небольшим уклоном поднимается к задней стене. В передней части организована достаточно большая сцена, за которой выполнен подъем уровня пола до отметки, на которой размещается орган. Инструмент (37 регистров, 3 мануала, педаль) производства фирмы «Hermann Eule» (Германия) был пере-

несен из здания православного собора (бывшего концертного зала), где он размещался ранее. Ширина нового органного зала в уровне боковых стен составляет 15,8 м. Длина зала от задней стены до конца сцены, за которым начинается возвышение для органа, равна 18,3 м. Наибольшая высота помещения от уровня пола перед первым рядом кресел до плоского потолка равна 12,6 м. Воздушный объем помещения  $V=3860 \text{ м}^3$ . При этом удельный объем на 1 зрителя составляет  $V/N=12 \text{ м}^3$ , что достаточно для органного зала. В отделке зала использованы исключительно жесткие, хорошо отражающие звук материалы. Стены и потолок – камень, штукатурка, гипсовая лепнина. Пол – камень в проходах и паркет в зоне кресел. В зале установлены специально подобранные кресла с малым звукопоглощением.



Рисунок 1 – Фото зала. Вид на сцену



Рисунок 2 – Фото зала. Вид со сцены

В пустом зале измерения проводились при размещении измерительного микрофона в 5 точках в одной половине симметричного зала, положение которых отмечено на рисунке 3. Источник звука размещался на стойке непосредственно перед органом за скамьей органиста. Из той же точки производились выстрелы из стартового пистолета. В качестве натуральных звучаний использовались резко обрывающиеся органные аккорды. Проигрывались два типа аккордов, один из которых имел максимум мощности излучения в области низких и средних частот, а другой – более широкий спектр, достигавший высоких частот (от 32 Гц до более чем 4 кГц).

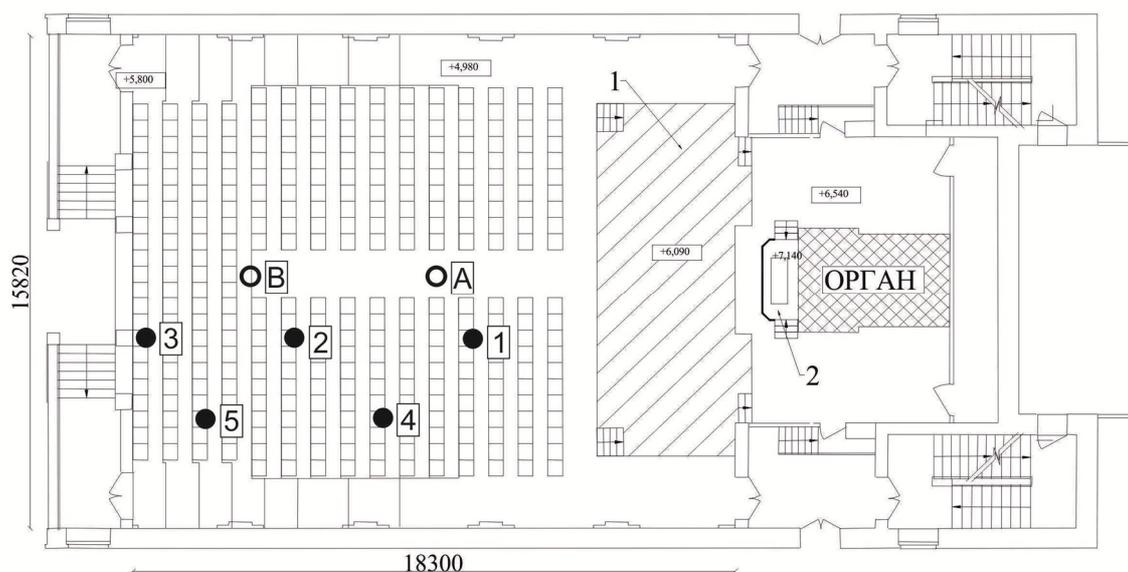


Рисунок 3 – План зала. Черными кружками отмечены точки 1-5 размещения микрофона при измерениях в пустом зале. Открытые кружки отмечают точки А и В, в которых микрофон размещался при измерениях в заполненном публикой помещении.  
1 – сцена; 2 – площадка кафедры органа

Орган, как известно, имеет наибольшую среди всех музыкальных инструментов ширину спектра создаваемых звуков, перекрывая почти весь диапазон слышимых человеком частот. Именно это позволяет использовать его как источник тестовых сигналов при измерении акустических характеристик залов. Главным при создании тестовых сигналов с помощью органа являются 3 обстоятельства:

(1) Используются достаточно широкие, равномерно заполненные многочисленными звуками аккорды. При измерениях на низких и средних частотах такие аккорды ограничиваются соответственно большей октавой внизу диапазона клавиатур инструмента – как мануалов, так и педальной клавиатуры, и началом второй октавы на мануалах вверху, для достижения же максимальной ширины полосы верхняя часть аккордов достигала третьей октавы мануалов органа. При этом учитывается, что реальный диапазон частот, создаваемый органом, значительно шире диапазона нажатых на клавиатурах аккордов [3].

(2) Состав регистров для озвучивания зала должен быть достаточно полным, включая в себя, за небольшим исключением, все регистры органа («*Pleno*» или «*Tutti*»), поскольку именно при такой регистровке обеспечивается максимальная ширина полосы звучания органа.

(3) Для точного измерения времени реверберации все звуки аккордов должны обрываться строго одновременно (синхронно). Разумеется, такое использование органа требует определенного опыта, однако не является сложным для специалиста, хорошо знающего орган.

Измерения с публикой при полном заполнении зала проводились на следующий день перед началом «тестового» органного концерта, проведенного по пригласительным билетам. Организаторы перед началом концерта сообщили публике, что в зале будут проводиться акустические измерения и попросили ее сидеть тихо и никак не комментировать вслух происходящее. Предварительно было оговорено, что вся процедура должна занять не более 8 минут. С учетом этого краткого времени и заполнения зала публикой было невозможно разместить микрофон в тех же точках в зоне кресел, которые использовались при измерениях в пустом зале. Поэтому для размещения микрофона были выбраны 2 точки А и В в центральном проходе, которые отмечены на рисунке 3.

Сама методика измерений была одинаковой при измерениях как в пустом, так и в заполненном публикой зале. В качестве широкополосного псевдослучайного сигнала применялись *MLS*-последовательности, длина которых заведомо превышала время реверберации помещения. Этот сигнал генерировался инсталлированной на ноутбуке программой *EASERA*, с выхода профессиональной звуковой карты поступал на усилитель мощности и излучался в помещение ненаправленным звуковым источником. Отличие диаграммы направленности этого источника от сферической не выходило за пределы, регламентированные в упомянутом выше стандарте. Отклик помещения на *MLS*-сигнал воспринимался микрофоном и через звуковую карту поступал на ноутбук, где записывался на жесткий диск. Весь измерительный тракт был предварительно откалиброван. При записи пистолетных выстрелов и органных аккордов использовалась одна и та же приемная часть измерительного тракта. Каждый испытательный сигнал воспроизводился 3 раза, и соответственно фиксировались 3 отклика помещения, что позволило сделать вывод о хорошей повторяемости результатов в каждой точке зала.

Значения времени реверберации незначительно менялись по площади зала. На рисунке 4 в качестве примера показаны для пустого зала частотные характеристики  $RT_{UNOCC}$ , измеренные на пистолетных выстрелах.

Средние по помещению значения времени реверберации, как в пустом зале  $RT_{UNOCC}$  (рис. 5), так и в зале с публикой  $RT_{OCC}$  (рис. 6), зафиксированные на трех различных испытательных сигналах, оказались фактически идентичными. Отличие между результатами, полученными на разных испытательных сигналах, не превышает среднестатистической погрешности при измерении времени реверберации. На рисунке 6 дополнительно показана штриховая кривая, соответствующая расчетным значениям  $RT_{OCC}$ , полученным ранее [2] в ходе компьютерного акустического моделирования зала. Как видно, наблюдается хорошее совпадение расчетных значений с результатами натуральных измерений.

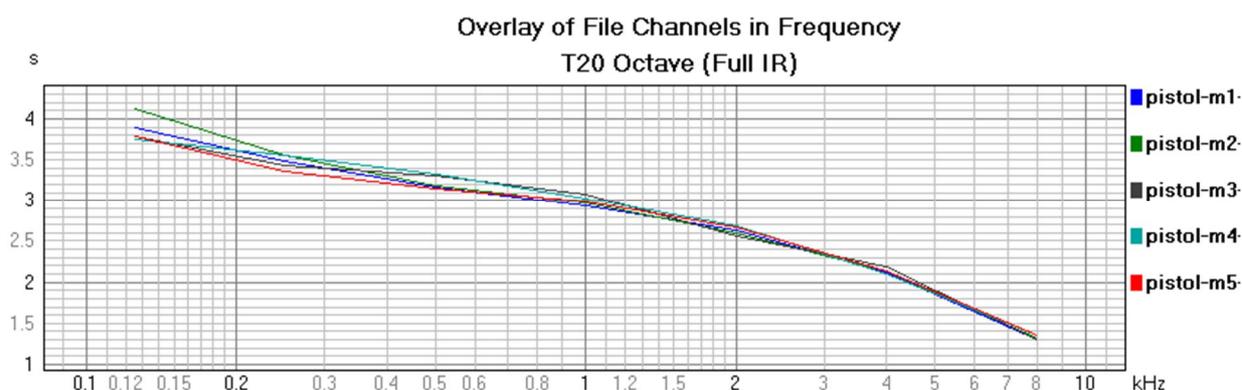


Рисунок 4 – Частотные характеристики  $RT_{UNOCC}$  в 5 точках зала. Тестовый сигнал – пистолетный выстрел

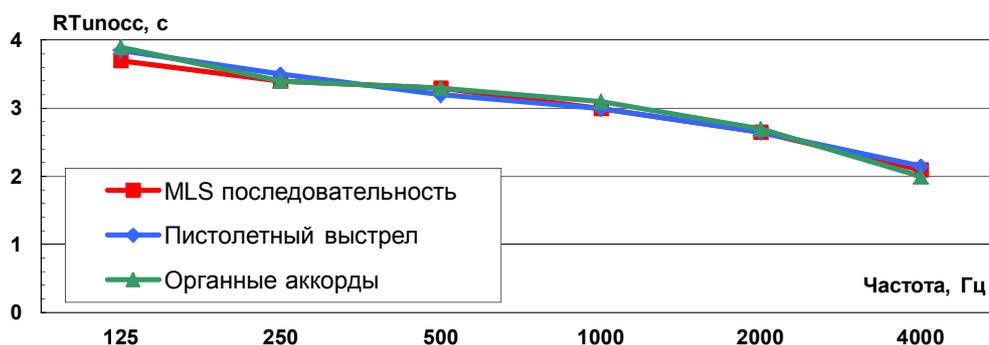


Рисунок 5 – Средние по залу значения  $RT_{UNOCC}$  на трех различных тестовых сигналах

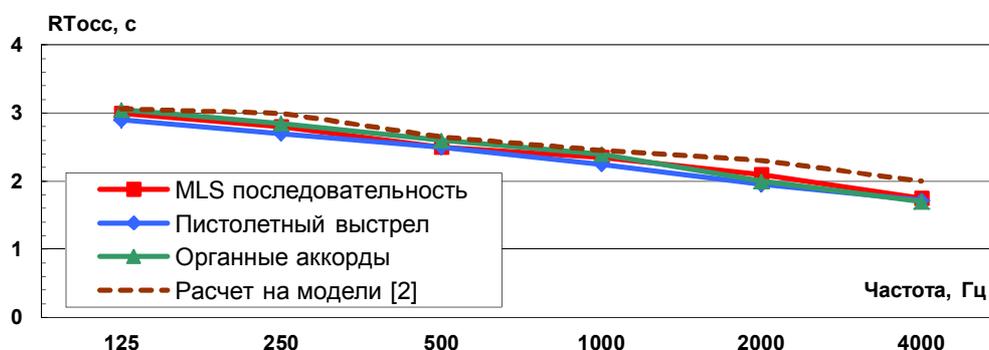


Рисунок 6 – Средние по залу значения  $RTOCC$  на трех различных тестовых сигналах

Поскольку измерения при отсутствии и наличии публики проводились при размещении измерительного микрофона в разных точках, то сопоставление значений дополнительных критериев акустического качества целесообразно проводить применительно к средним по залу величинам. В таблице 1 показаны результаты применительно к музыкальному критерию индексу прозрачности звучания  $S_{80}$ . Из них следует, что отличие значений  $S_{80}$ , измеренных на  $MLS$ -сигналах и на пистолетных выстрелах, находится в пределах  $\pm 0,35$  дБ. При наличии публики это отличие увеличивается до  $\pm 0,50$  дБ, что может быть объяснено тем, что в заполненном зале измерения проводились при размещении микрофона только в 2 точках. Подобные отличия находятся в пределах обычной погрешности при измерениях энергетических критериев. Обращает на себя внимание тот факт, что во всем частотном диапазоне значения  $S_{80}$  при измерениях на пистолетных выстрелах как в пустом, так и в заполненном публикой зале оказываются несколько выше величин, полученных при измерениях на  $MLS$ -сигналах. Причина

этого может быть связана с тем, что направленность пистолетного выстрела в большей степени отличается от сферической формы, чем у специально разработанного для акустических измерений ненаправленного излучателя, использованного при измерениях на *MLS*-сигналах.

Таблица 1 – Средние по залу значения индекса прозрачности звучания  $C_{80}$ , дБ

	Частоты октавный полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
$C_{80,UNOCC}$ (измерено на <i>MLS</i> -сигналах)	-6,8	-5,1	-3,6	-3,6	-2,7	-1,1
$C_{80,UNOCC}$ (измерено на выстрелах)	-6,4	-4,4	-4,2	-3,4	-2,4	-1,2
$C_{80,OCC}$ (измерено на <i>MLS</i> -сигналах)	-6,8	-2,6	-2,5	-2,5	-1,9	0,0
$C_{80,OCC}$ (измерено на выстрелах)	-5,9	-3,4	-1,7	-1,5	-0,9	0,3

Результаты проведенного экспериментального исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Требуемая точность измерения времени реверберации в зрелищных залах может быть обеспечена не только при использовании рекомендованных нормативными документами псевдослучайных последовательностей максимальной длины и кратковременных импульсных сигналов (пистолетных выстрелов), но и при излучении в зал натуральных звучаний типа резко обрывающихся органных аккордов.

2. Применительно к определению дополнительных критериев акустического качества могут применяться как *MLS*-сигналы, так и пистолетные выстрелы. Однако использование *MLS*-сигналов является предпочтительным, поскольку позволяет более удобно произвести усреднение в ходе измерений, а также при применении специальных ненаправленных источников звука обеспечить лучшее приближение к сферической форме диаграммы направленности, чем у выстрелов из пистолета.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Jambrosic K, Horvat M., Domitrovic H. Reverberation time measuring methods // J. Acoust. Soc. Am. – 2008. – v. 123. – P. 3617.
2. Кравчун, П.Н. Акустика нового органного зала с размещением в нем духового органа из бывшего собора на Алом Поле в Челябинске [Текст] / П.Н. Кравчун, М.Ю. Ланэ // Сборник трудов Научной конференции «Сессия Научного совета РАН по акустике и XXV сессия Российского акустического общества». – М.: ГЕОС, 2012. – Т. 3. – С. 95-98.
4. Fletcher N.H., Rossing Th.D. The physics of musical instruments (2nd edition). – New York – Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 2000. – 756 P.

**Ланэ Михаил Юрьевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории акустики залов

Тел.: +7 903 238 78 66

E-mail: mlannie@mail.ru

**Кравчун Павел Николаевич**

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Кандидат физико-математических наук, доцент кафедры «Акустика»

Тел.: +7 916 382 80 62

E-mail: gedackt@mail.ru

M. LANNIE, P. KRAVCHUN

## ABOUT THE DIFFERENT TYPES OF TEST SIGNALS DURING ACOUSTIC MEASUREMENTS IN THE SPECTACULAR HALLS

*The results of experimental studies of the possibility of using different types of test signals for determining acoustic parameters of rooms are presented in this paper. The measurements were performed in the new organ hall of "Rodina" in Chelyabinsk. They were held in an empty room, and when it was filled by the audience. It was found that in addition to commonly used pseudo-random sequences of maximum length and pistol shots to determine the reverberation time the abruptly ends organ chords can be used. The work was also found good agreement between the values of the reverberation time of the hall with the audience measured in the ready room and calculated on a computer model in the acoustic design.*

**Keywords:** architectural acoustics, reverberation time, organ hall, acoustic measurements.

## BIBLIOGRAPHY

1. Jambrosic K, Horvat M., Domitrovic H. Reverberation time measuring methods // J. Acoust. Soc. Am. – 2008. – v. 123. – P. 3617.
2. Kravchun, P.N. Akustika novogo organnogo zala s razmeshheniem v nem duhovogo organa iz byvshego sobora na Alom Pole v Cheljabinske [Tekst] / P.N. Kravchun, M.Ju. Lanje // Sbornik trudov Nauchnoj konferencii «Sessija Nauchnogo soveta RAN po akustike i XXV sessija Rossijskogo akusticheskogo obshhestva». – M.: GEOS, 2012. – T. 3. – С. 95-98.
4. Fletcher N.H., Rossing Th.D. The physics of musical instruments (2nd edition). – New York – Berlin – Heidelberg: Springer Verlag, 2000. – 756 P.

### **M. Lannie**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory of room acoustics  
Ph.:+7 903 238 78 66  
E-mail: mlannie@mail.ru

### **P. Kravchun**

Moscow state university named after M.V. Lomonosov, Moscow  
Candidate of physico-mathematical sciences, professor of the department «Acoustics»  
Ph.:+7 916 382 80 62  
E-mail: gedackt@mail.ru

ЛЕШКО М.Ю., СИДОРИНА А.В.

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ И ТЕРРИТОРИЙ ЗАСТРОЙКИ ОТ ШУМА СИСТЕМ ОВК

*Приводятся рекомендации и пути обеспечения оптимальной с точки зрения акустики и экономики защиты от шума оборудования систем ОВК в помещениях зданий различного назначения и в городской застройке, основанные на результатах лабораторных, натурных исследований и многолетнем опыте борьбы с шумом различных источников. Особое внимание уделено результатам исследований акустических возможностей гибких воздуховодов.*

**Ключевые слова:** системы ОВК, аэродинамический, воздушный, структурный шум, средства снижения шума.

Современные административные, общественные и жилые здания трудно представить без систем ОВК (систем воздушного отопления, вентиляции, кондиционирования воздуха), обеспечивающих в помещениях необходимый микроклимат. Участвуя в обеспечении жизнедеятельности человека, они создают для него при работе негативные акустические условия в зданиях и на прилегающих к ним территориях застройки, поскольку являются источниками повышенного шума.

В общем, различают три составляющие шума системы ОВК. Это аэродинамический шум, распространяющийся по воздуховодам в обслуживаемые системами помещения и в открытое пространство. Воздушный шум излучается источниками непосредственно в окружающее пространство. Шум, создаваемый в помещениях их ограждениями, называют структурным, а его причиной является вибрация механического или аэродинамического происхождения, передающаяся на строительные конструкции здания. Эксплуатация названных систем, как правило, невозможна без осуществления комплекса строительного-акустических мероприятий.

**Аэродинамический шум** в зонах воздействия создают вентиляторы, путевая арматура (дроссель-клапаны, шиберы), фасонные элементы воздуховодов и воздухораспределительные устройства. Для снижения такого шума пригодны преимущественно абсорбционные глушители. Это трубчатые, пластинчатые, канальные глушители с применением звукопоглощающих материалов (ЗПМ). Трубчатые глушители (круглые и прямоугольные) эффективны в воздуховодах с поперечными размерами до 500 мм. Увеличить снижение шума в воздуховодах с большими поперечными размерами можно путем равномерного распределения ЗПМ по их сечению. Этот принцип использован в пластинчатом глушителе. В прямоугольных воздуховодах (в воздушных каналах) с поперечными размерами до 800×500 мм часто применяют канальные глушители – пластинчатые глушители с одной пластиной [1, 2].

Затухание звука в абсорбционных глушителях зависит от длины активной части, периметра проходного сечения, от толщины слоя, плотности и коэффициента ЗПМ. Эффективность трубчатого глушителя может быть увеличена за счет увеличения его длины, а также толщины слоя ЗПМ (в диапазоне низких и средних частот). Повысить акустические возможности канального глушителя можно, только увеличивая его длину. Пластинчатый глушитель имеет преимущество: его эффективность можно повысить в широком диапазоне частот, увеличивая длину, толщину пластин или уменьшая расстояние между пластинами. От высоты и количества пластин эффективность этих глушителей не зависит. Оптимальные размеры глушителей определяются на основе акустических расчётов [3, 4].

Необходимое снижение аэродинамического шума достигается за счёт использования круглых гибких воздуховодов. Они нашли применение для соединения металлических магистральных воздуховодов, входных и выходных патрубков фэнкойлов с воздухораспределительными или воздухозаборными устройствами и подразделяются на два типа: бескаркасные и

каркасные. Гибкие бескаркасные воздуховоды (ГБВ), изготавливаются из эластомерных материалов, например, вспененного полиэтилена с алюминиевым покрытием, или гофрированной алюминиевой фольги. Гибкие каркасные воздуховоды (ГКВ) – это разнообразные лёгкие многослойные конструкции, монтирующиеся на металлических спиралях (каркасах).

Информация об акустических возможностях и аэродинамических характеристиках ряда представителей того и другого типа таких воздуховодов впервые, во всяком случае в нашей стране, появилась в работе [5]. В ней приводятся результаты испытаний на аэроакустическом стенде НИИСФ РААСН ряда воздуховодов зарубежных и отечественных производителей диаметром 200 мм, длиной 1-3 м.

Недавно испытания были продолжены и получены новые достаточно интересные данные. Испытаны изделия отечественного производителя: гибкие каркасные теплоизолированные звукопоглощающие воздуховоды типа Акустик эконом (ГКВАЭ) длиной 1-3 м, диаметром от 100 до 350 мм и воздуховод гибкий неизолитованный (ВГН) из гофрированной алюминиевой фольги (без теплоизоляции) диаметром 200 мм. Конструкция ГКВАЭ включает: внутренний перфорированный воздуховод, теплоизоляцию (слой нетканого материала толщиной 25 мм, плотностью 16 кг/м<sup>3</sup>), обёрнутую полиэтиленовой плёнкой, наружный кожух (многослойную алюминиевую фольгу) с армированным усилением. Такие воздуховоды применяются на теплосберегающих участках систем ОВК с давлением не больше 3000 Па.

В полном объёме результаты испытаний представлены в работе [6]. Приведём наиболее важные из них. Установлено, что теплоизолированные ГКВАЭ обеспечивают весьма высокую акустическую эффективность ( $\Delta L$ , дБ) – снижение звуковой мощности при распространении по ним в широком диапазоне измеряемых частот (рис. 1). В диапазоне высоких частот эта эффективность не ниже, чем у соответствующих (по внутреннему сечению) традиционных трубчатых глушителей, а в диапазоне низких частот значительно выше. Она существенно зависит не только от диаметра воздуховода, но его и длины (рис. 2).

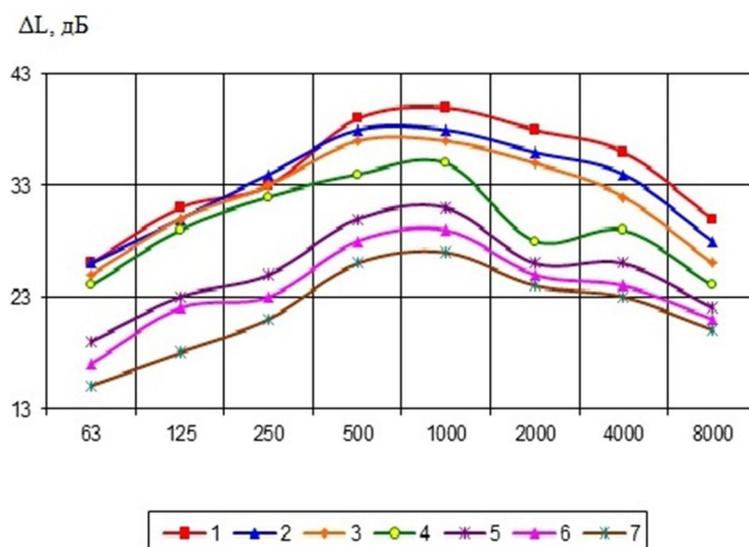


Рисунок 1 – Акустическая эффективность ГКВ длиной 3 м в зависимости от диаметра: 1 – 102 мм; 2 – 127 мм; 3 – 160 мм; 4 – 203 мм; 5 – 254 мм; 6 – 315 мм; 7 – 354 мм

Акустическая эффективность воздуховодов гибких неизолитованных значительно ниже, чем у ГКВАЭ, особенно в низкочастотном диапазоне (разница достигает 19-24 дБ). Вместе с тем, она весьма существенная, несмотря на отсутствие звукопоглощения. На высоких частотах (1000 Гц и выше) эффект установки ВГН превышает 20 дБ.

Стенки ГКВАЭ имеют значительно более низкую звукоизолирующую способность по сравнению со стенками испытательных каналов (типовых воздуховодов). Свидетельством тому является повышение уровней шума в измерительной зоне (в окружающем пространстве) при замене испытательных каналов на соответствующие гибкие воздуховоды. О величине

снижения изоляции воздушного шума наглядное представление дают спектрограммы, приведённые на рисунке 3.

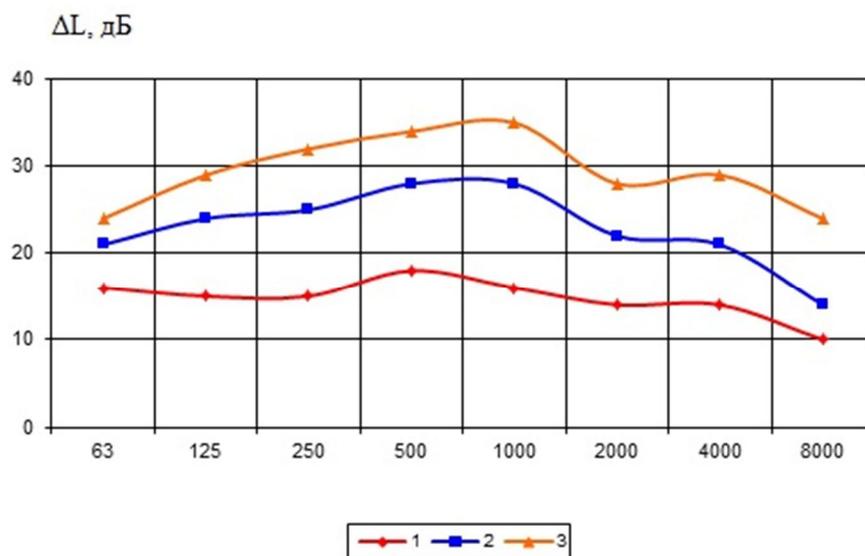


Рисунок 2 – Эффективность ГКВ диаметром 200 мм в зависимости от длины: 1 – 1 м; 2 – 2 м; 3 – 3 м

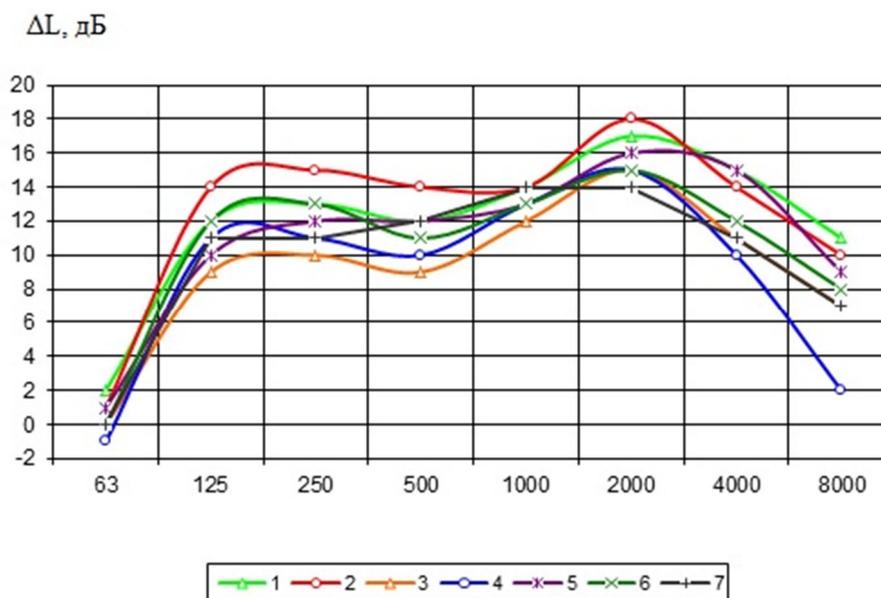


Рисунок 3 – Повышение уровня шума в помещении при замене испытательных каналов разных диаметров на гибкие воздуховоды: 1 – 103 мм; 2 – 127 мм; 3 – 163 мм; 4 – 203 мм; 5 – 254 мм; 6 – 317 мм; 7 – 355 мм

Таким образом, гибкие каркасные воздуховоды по акустическим свойствам (эффективности снижения распространяющегося по ним шума) не уступают трубчатым глушителям, а по удобству монтажа превосходят металлические воздуховоды. Звукоизолирующие возможности стенок этих воздуховодов существенно ниже, чем у традиционных металлических воздуховодов, и это их существенный недостаток, следствием которого являются ненормативные акустические условия в помещениях, где они применяются.

**Меры и средства снижения воздушного шума** зависят от величины его требуемого снижения, а также от места расположения источника (оборудования). Окружающее источники пространство может быть замкнутым, когда они находятся в техническом, вспомогательном,

обслуживаемом помещении, или свободным, когда они установлены снаружи здания (на фасадах, балконах, кровле). На выбор решений могут влиять также условия эксплуатации оборудования и другие факторы.

Распространенный случай, когда один или несколько вентиляторов установлены в венткамере, а в смежных с ней помещениях по горизонтали и вертикали уровень шума ограничен. Воздушный шум, излучаемый корпусами вентиляторов и стенками воздуховодов, распространяется в венткамеру, а затем через ее ограждения проникает в смежные, защищаемые от него помещения. Уровень шумового воздействия в них можно снизить за счет: установки кожухов на вентиляторы и воздуховоды, акустической обработки помещения венткамеры (облицовки стен и потолка слоем звукопоглощающего материала, как правило, волокнистого с защитным покрытием), установки ограждений с достаточно высокой звукоизолирующей способностью. В зависимости от величины требуемого снижения шума, определяемого, например, методами, приведенными в работах [7], выбирается наиболее эффективный и дешевый вариант.

В подобных случаях нередко требуется оперативная оценка фактической звуковой мощности вентиляционного оборудования, например, для сравнения ее с паспортными данными и определения возможной причины повышенных уровней звукового давления в венткамере, а также поиска приемлемых и экономичных путей защиты смежных помещений от воздушного шума этого оборудования, используется инженерный метод расчета [8]. Он заключается в определении уровней звуковой мощности (УЗМ) путем расчетов уровней звукового давления методами, объективно оценивающими распределение отраженной звуковой энергии в помещении при известных характеристиках звукопоглощения помещения, и позволяет по некоторым легко определяемым исходным данным оценивать уровни звуковой мощности оборудования непосредственно в венткамерах. Такими данными являются: время реверберации и вычисленные по стандартной методике средние коэффициенты звукопоглощения ограждений венткамеры, а также уровни звукового давления (шума), измеренные на заданных в помещении участках при работающем оборудовании.

Часто транзитные воздуховоды проходят через помещения с достаточно жесткими акустическими требованиями, излучая в них повышенный воздушный шум. В таких случаях наиболее эффективной мерой его снижения являются звукоизолирующие покрытия. Они могут быть однослойными или многослойными из эластомерных (вспененных) или волокнистых материалов [9, 10].

Наружные блоки систем кондиционирования воздуха, различные охладители систем холодоснабжения располагаются на фасадах и кровле зданий и излучают воздушный шум в прилегающую жилую застройку. Из-за конструктивных особенностей таких охладителей набор средств и методов, пригодных для снижения их шума, весьма ограничен. Экранирование шума указанных и других подобных агрегатов – практически единственный путь. Необходимую защиту от шума названных источников обеспечивают акустические экраны – шумозащитные преграды, состоящие чаще всего из листовых материалов, закрепляемых на опорах – стояках и, как проемы, облицованные со стороны источника звука слоем волокнистого звукопоглощающего материала (толщина слоя 80-100 мм) с защитным покрытием. Экранирующая способность таких акустических экранов зависит от их размеров, расстояния между экраном и источником, от высоты расположения расчетной точки и расстояния от нее до экрана и определяется расчетом [3].

**Снижение структурного шума.** Необходимое снижение структурного шума достигается посредством виброизоляции – снижения колебаний, передаваемых от источников на строительные конструкции здания посредством разнообразных упругих систем, размещаемых между строительными конструкциями и оборудованием. Конструкции этих систем зависят от сложности решаемых задач. Поскольку элементы систем ОВК – источники широкополосной вибрации, виброизоляция рассчитывается и проектируется для широкого диапазона частот. Применяются одно-, двухзвенные, а в некоторых случаях и трехзвенные системы (схемы) виброизоляции.

Снижение вибрации вентиляторов в составе вентиляционных установок, кондиционеров, различных воздушных охладителей, компрессоров в составе холодильных машин и машин в целом достигается с помощью пружинных, резиновых и комбинированных амортизаторов (виброизоляторов). Подбор и расчёт виброизоляторов выполняют изготовители оборудования: определяют статический и динамический модули упругости виброизолирующего материала, расчётное статическое напряжение в нем, собственные частоты, рабочую высоту, жёсткость, количество виброизоляторов и допустимую нагрузку на каждый из них. Несмотря на принимаемые изготовителями меры, по разным причинам оборудование имеет остаточную вибрацию [11]. Одна из них связана с тем, что на объектах количество оборудования, как правило, большое. Оно устанавливается группами в одном или нескольких помещениях на технических этажах и различается по габаритам, массе, собственным частотам и другим характеристикам. Взаимодействие каждого агрегата с перекрытием усложняется, а его виброизоляторы не обеспечивают требуемое снижение вибрации. В таких случаях целесообразно использовать достаточно простой способ виброизоляции – установку пола на упругом основании («плавающего пола») [2, 11].

Распространенной ошибкой проектировщиков с негативными последствиями является использование в полах на технических этажах зданий в качестве упругого основания плотного экструдированного полистирола. Вибрационные характеристики этого эффективного теплоизолирующего материала практически исключают возможность его применения для виброизоляции. Данная ошибка проявляется преимущественно при введении в эксплуатацию оборудования и сдаче объектов. Выясняется, что вибрационные колебания перекрытий не только не снижаются, но и усиливаются при определенных условиях [2].

Оптимальные с точки зрения обеспечения необходимой виброизоляции параметры и свойства имеют волокнистые и эластомерные материалы. Волокнистые материалы на основе стекловолокна (Урса, Изовер) и базальтовых пород (Роквул, Изотек), пригодные для использования в «плавающих полах» на технических этажах имеют плотность 90-150 кг/м<sup>3</sup>. Динамический модуль упругости ( $E_0$ ) этих материалов по данным института при нагрузке 2 кПа находится в пределах от 0,27 до 0,5 МПа, а при нагрузке 5 кПа  $E_0 = 0,3 - 0,65$  МПа. Они характеризуются высокой относительной деформацией или сжатием ( $\varepsilon$ ), зависящим от плотности материала и от нагрузки на него. При первой указанной нагрузке  $\varepsilon = 0,4 - 0,5$ , а при второй  $\varepsilon = 0,47 - 0,7$ . Необходимая (требуемая) толщина виброизолирующего слоя из этих материалов может достигать 150-200 мм в не обжатом состоянии, что может служить ограничением при их использовании.

Отечественные эластомерные материалы (этафом, изолон, вилатерм, термофлекс и др.) изготавливаются на основе пенополиэтилена, пенополипропилена, а импортный типа «Silomer» – на основе полиуретана. Динамические модули упругости отечественных эластомеров находятся в пределах от 0,2 до 0,66 МПа при нагрузке 2 кПа и 0,34-0,85 МПа при нагрузке 5 кПа. Относительное сжатие этих материалов существенно ниже, чем у волокнистых, и при указанных нагрузках составляет от 0,05 до 0,15 и от 0,1 до 0,2 соответственно. «Silomer» – это группа из девяти материалов с разными динамическими модулями упругости от 0,15 до 10,8 МПа, различающихся по цвету. В паспортах эластомеров содержится полный набор вибрационных характеристик (твёрдость, рабочий диапазон нагрузок, предельная статическая нагрузка, статический и динамический модули сдвига и др.).

Затраты, связанные с устранением вибрации и сопровождающего ее структурного шума на любом по назначению объекте, могут быть оптимальными, если необходимые защитные меры планируются на стадии его проектирования, когда есть возможность правильно оценить акустическую ситуацию, выбрать наиболее эффективные меры и средства, а также скорректировать объемно-планировочные решения и учесть конструктивные особенности зданий. На действующем объекте такая возможность исключена, поэтому затраты на осуществление комплексного (системного) подхода, обеспечивающего устранение всех путей передачи вибрации на строительные конструкции во много раз выше, чем на проектируемом объекте. Важно пом-

нить, что при сохранении хотя бы одного пути распространения вибрации на строительные конструкции, осуществление других мер и связанные с ним затраты не приводят к ожидаемому результату.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, В.П. Акустические характеристики абсорбционных глушителей для защиты зданий и территорий застройки от вентиляционного шума [Текст] / В.П. Гусев // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – №3. – С. 53-59.
2. Гусев, В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем [Текст] / В.П. Гусев // АВОК. – 2012. – №2. – С. 38-42; №3. – С. 38-43.
3. Гусев, В.П. Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления [Текст] / В.П. Гусев, В.И. Леденев, М.Ю. Лешко // Справочное пособие под редакцией И.Л. Шубина. – М.: НИИСФ РААСН. – 80 с.
4. Гусев, В.П. Метод оценки распространения шума по воздушным каналам систем отопления, вентиляции и кондиционирования [Текст] / В.П. Гусев, О.А. Жоголева, В.И. Леденев, Е.О. Соломатин // Жилищное строительство. – 2012. – №6. – С. 52-55.
5. Гусев, В.П. Акустические и аэродинамические характеристики гибких воздуховодов // АВОК. – №1 – 2004. – С. 43-47.
6. Гусев, В.П. Акустические возможности гибких воздуховодов, применяемых в системах ОВК [Текст] / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко, А.В. Сидорина // АВОК. – 2015. – №1. – С. 64-69.
7. Гусев, В.П. Оценка шумового воздействия на окружающую среду вентиляционного оборудования, установленного на открытых площадках [Текст] / В.П. Гусев, В.И. Леденев // АВОК. – 2014. – №3. – С. 70-74.
8. Гусев, В.П. Оценка звуковой мощности оборудования в вентиляционных камерах [Текст] / В.П. Гусев, В.И. Леденев // АВОК. – 2009. – №3. – С. 32-39.
9. Гусев, В.П. Расчет и проектирование защиты от шума транзитных воздуховодов систем ОВК [Текст] / В.П. Гусев, А.В. Сидорина // АВОК. – 2013. – №2. – С. 94-100.
10. Гусев, В.П. Изоляция шума воздуховодов систем вентиляции покрытиями с использованием эластомерных и волокнистых материалов [Текст] / В.П. Гусев, А.В. Сидорина // Строительные материалы, 2013. – №6. – С. 37-39.
11. Гусев, В.П. Вибрация оборудования инженерных систем и способы защиты от нее [Текст] / В.П. Гусев // АВОК, 2010. – №5. – С. 60-66.

#### Лешко Михаил Юрьевич

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Старший научный сотрудник

Тел.: +7 (495) 482-41-77

E-mail: mleshko@yandex.ru

#### Сидорина Анна Владимировна

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Старший научный сотрудник

Тел.: +7 (495) 482-41-77

E-mail: anna\_sidorina@mail.ru

M. LESHKO, A. SIDORINA

### PRACTICAL SOLUTIONS TO PROTECT BUILDINGS AND AREAS OF CONSTRUCTION NOISE HVAC

*Recommendations and ways to ensure optimal from the point of view of acoustics and Economics of noise control equipment HVAC system's in the premises of various buildings and in urban areas, based on result's of laboratory, field studies and many years of experience in dealing with various noise sources. Special attention is paid to the results of studies of acoustic flexible ducting.*

**Keywords:** HVAC, aerodynamic, air, structural noise means noise reduction.

BIBLIOGRAPHY

1. Gusev, V.P. Akusticheskie karakteristiki absorbcionnyh glushitelej dlja zashhity zdaniy i territorij zastrojki ot ventiljacionnogo shuma [Tekst] / V.P. Gusev // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. – 2003. – №3. – S. 53-59.
2. Gusev, V.P. Iz opyta bor'by s shumom oborudovanija inzhenernyh sistem [Tekst] / V.P. Gusev // AVOK. – 2012. – №2. – S. 38-42; №3. – S. 38-43.
3. Gusev, V.P. Raschet i proektirovanie shumoglushenija sistem ventiljacji, kondicionirovanija vozduha i vozdušnogo otoplenija [Tekst] / V.P. Gusev, V.I. Ledenev, M.Ju. Leshko // Spravochnoe posobie pod redakciej I.L. Shubina. – M.: NIISF RAASN. – 80 s.
4. Gusev, V.P. Metod ocenki rasprostranenija shuma po vozdušnym kanalam sistem otoplenija, ventiljacji i kondicionirovanija [Tekst] / V.P. Gusev, O.A. Zhogoleva, V.I. Ledenev, E.O. Solomatin // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2012. – №6. – S. 52-55.
5. Gusev, V.P. Akusticheskie i ajerodinamicheskie karakteristiki gibkih vozduhovodov // AVOK. – №1 – 2004. – S. 43-47.
6. Gusev, V.P. Akusticheskie vozmozhnosti gibkih vozduhovodov, primenjaemyh v sistemah OVK [Tekst] / V.P. Gusev, M.Ju. Leshko, A.V. Sidorina // AVOK. – 2015. – №1. – S. 64-69.
7. Gusev, V.P. Ocenka shumovogo vozdejstvija na okruzhajushhuju sredu ventiljacionnogo oborudovanija, ustanovlennogo na otkrytyh ploshhadjah [Tekst] / V.P. Gusev, V.I. Ledenev // AVOK. – 2014. – №3. – S. 70-74.
8. Gusev, V.P. Ocenka zvukovoj moshhnosti oborudovanija v ventiljacionnyh kamerah [Tekst] / V.P. Gusev, V.I. Ledenev // AVOK. – 2009. – №3. – S. 32-39.
9. Gusev, V.P. Raschet i proektirovanie zashhity ot shuma tranzitnyh vozduhovodov sistem OVK [Tekst] / V.P. Gusev, A.V. Sidorina // AVOK. – 2013. – №2. – S. 94-100.
10. Gusev, V.P. Izoljacija shuma vozduhovodov sistem ventiljacji pokrytijami s ispol'zovaniem jelastomernyh i voloknistyh materialov [Tekst] / V.P. Gusev, A.V. Sidorina // Stroitel'nye materialy, 2013. – №6. – S. 37-39.
11. Gusev, V.P. Vibracija oborudovanija inzhenernyh sistem i sposoby zashhity ot nee [Tekst] / V.P. Gusev // AVOK, 2010. – №5. – S. 60-66.

**M. Leshko**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Senior researcher  
Ph.: +7 (495) 482-41-77  
E-mail: mleshko@yandex.ru

**A. Sidorina**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Senior researcher  
Ph.: +7 (495) 482-41-77  
E-mail: anna\_sidorina@mail.ru

НИКОЛОВ Н.Д., ТРАПОВ Г.И., ШУБИН И.Л., МАЖДРАКОВ М.Г., БЕНОВ Д.М.

## АКУСТИЧЕСКОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ КВАЗИЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЗВУКОВЫХ ВОЛН

*В акустике рассматриваются две модели распространения звуковых волн – с точечным и с линейным источником. В первом случае энергия шума распространяется сферически, во втором – цилиндрически, причем цилиндр имеет неограниченную длину. Это предположение противоречит натуральным исследованиям в городской среде и результатам лабораторных экспериментов. Поэтому, в 1984 году Н. Николов ввел новый класс звуковых волн, названных им «квазицилиндрическими». С точки зрения физики, квазицилиндрические волны порождаются от синфазно излучающих последовательных точечных источников. Поэтому можем ожидать, что при ограниченном числе источников, волны будут иметь свойства, близкие к сферическим, а при неограниченном – к цилиндрическим. Следовательно, при удвоении расстояния уменьшение шума будет не меньше чем 3 дБ (А), а увеличение – не больше 6 дБ (А). Исходя из этого, Н. Николов предложил обобщенное уравнение для распространения звуковых волн, которое может рассматриваться и как обобщенное уравнение для аналогичных процессов в гидродинамике.*

**Ключевые слова:** звуковые волны, законы распространения.

В акустике рассматриваются две модели распространения звуковых волн – с точечным и с линейным источником [1]. В первом случае энергия шума распространяется сферически, во втором – цилиндрически, причем цилиндр имеет неограниченную длину.

Принято вычислять уменьшение уровня шума при двукратном увеличении расстояния. Энергия звука уменьшается пропорционально площади фронта, т.е.  $r^2$  или  $r$ , где  $r$  – расстояние между источником шума и точкой отсчета. Тогда, для сферической волны уменьшение будет следующим:

$$\Delta L(r) = 20 \lg \left( \frac{r}{r_0} \right), \text{ dB(A)}, \quad (1)$$

а для цилиндрической:

$$\Delta L(r) = 10 \lg \left( \frac{r}{r_0} \right), \text{ dB(A)}, \quad (2)$$

где  $r_0$  – некое базисное расстояние,  $m$ .

Из формул (1) и (2) следует, что градиент уменьшения уровня шума при увеличении расстояния один и тот же, он не зависит от расстояния между источником и точкой отсчета и при удвоении может получать значения только 6 или 3 дБ (А).

Это предположение противоречит натуральным исследованиям в городской среде и результатам лабораторных экспериментов. Поэтому, в 1984 году Н. Николов [2, 4] дефинировал новый класс звуковых волн, названных им «квазицилиндрическими». С точки зрения физики, квазицилиндрические волны порождаются от синфазно излучающих последовательных точечных источников. Поэтому можем ожидать, что при ограниченном числе источников, волны будут иметь свойства, близкие к сферическим, а при неограниченном – к цилиндрическим. Следовательно, при удвоении расстояния уменьшение шума будет не меньше чем 3 дБ (А), а увеличение – не больше 6 дБ (А).

Исходя из этого, Н. Николов [3] предложил обобщенное уравнение для распространения звуковых волн, которое может рассматриваться и как обобщенное уравнение для аналогичных процессов в гидродинамике. Дифференциальное уравнение для распространения квазицилиндрических звуковых волн имеет следующий вид:

$$p(r, t) = B \left( \frac{\omega}{2c} \right)^{\frac{1-n}{2}} \Gamma \left( \frac{n+1}{2} \right) r^{\frac{1-n}{2}} J_{\frac{n-1}{2}} \left( \frac{\omega}{c} r \right) \sin \omega t. \quad (3)$$

где  $B$  и  $\Gamma$  – это функция Бесселя и Гамма-функция;  $c$  – скорость распространения звука,  $m/s$ ;  $t$  – время распространения волны,  $s$ ;  $\omega$  – угловая частота волны,  $rad/s$ ;  $r$  – расстояние до источника шума,  $m$ ;  $n$  – коэффициент, определяющийся видом волны; если  $n=1$  то волна цилиндрическая, если  $n=2$  – сферическая, если  $1 < n < 2$  – волна квазицилиндрическая.

Источники квазицилиндрических волн могут быть неограниченной или ограниченной длины. Источник квазицилиндрической волны неограниченной длины по своим физическим параметрам более всего похож на поток автомобилей на автомагистрали или магистральных улицах с неограниченным числом единичных генераторов. Этот поток характеризуется расстоянием, которое занимает один автомобиль (собственная длина автомобиля + дистанция) –  $l$ ,  $m$ . Тогда, при удвоении расстояния, уровень звука понижается с

$$\Delta L(r) = 10 \left( 1 + \frac{\lg \frac{l}{\pi}}{\lg r} \right) \frac{r}{r_0}, \text{ dB(A)}, \quad (4)$$

Практически, расстояние  $l$  определяется двумя величинами – интенсивностью движения  $N$  (число автомобилей за 1 час) и средней скоростью движения ( $V$ ,  $km/h$ ) –

$$l = \frac{1000V}{N}, \text{ m}, \quad (5)$$

Рисунок 1 демонстрирует снижение уровня звука при удвоении расстояния от транспортного потока с различными интервалами между источниками.

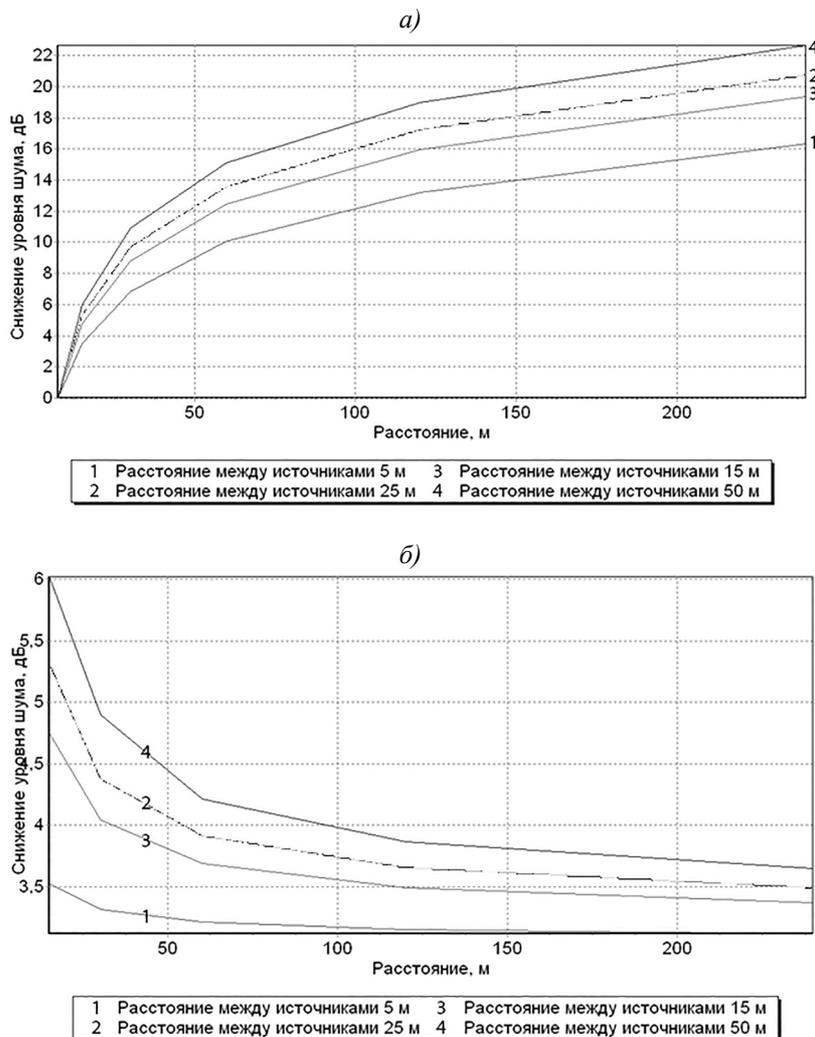


Рисунок 1 – Абсолютное (а) и относительное (б) снижение уровня звука от квазицилиндрического источника с неограниченной длиной при различных расстояниях между отдельными источниками.

Источник квазицилиндрических звуковых волн ограниченной длины – это движущийся поезд. В подобном случае число генераторов –  $n$  – ограничено, и все они располагаются на расстоянии  $l$  один от другого по прямой.

Источник ограниченной длины моделируется двумя показателями.

1. пространственный коэффициент направленности

$$D(\Theta) = \frac{\left| \sin\left(\frac{n\pi l}{\lambda} \sin \Theta\right) \right|}{\left| n \sin\left(\frac{\pi l}{\lambda} \sin \Theta\right) \right|}, \quad (6)$$

где  $\Theta$  – отклонение от нормала к источнику ( $0 < \Theta < 90^\circ$ );  $\lambda$  – длина волны,  $m$ .

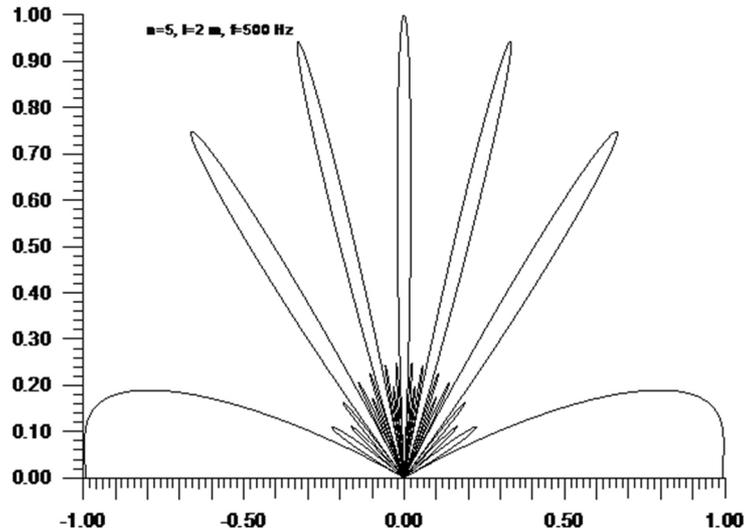


Рисунок 2 – Характер направленности квазицилиндрического источника с ограниченной длиной

Формула (6) – это развитие известной формулы для определения направления [5], которая касается ограниченного числа отдельных источников.

2. Понижение уровня шума от источника, расположенного в точке А, до принимающей точки В это:

$$\Delta L(r) = 20 \lg \frac{\left\{ \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^2} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=i+1}^n \frac{1}{r_i r_m} \cos[k(r_i - r_m)]} \right\}_A}{\left\{ \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{1}{r_i^2} + 2 \sum_{i=1}^n \sum_{m=i+1}^n \frac{1}{r_i r_m} \cos[k(r_i - r_m)]} \right\}_B}, \quad (7)$$

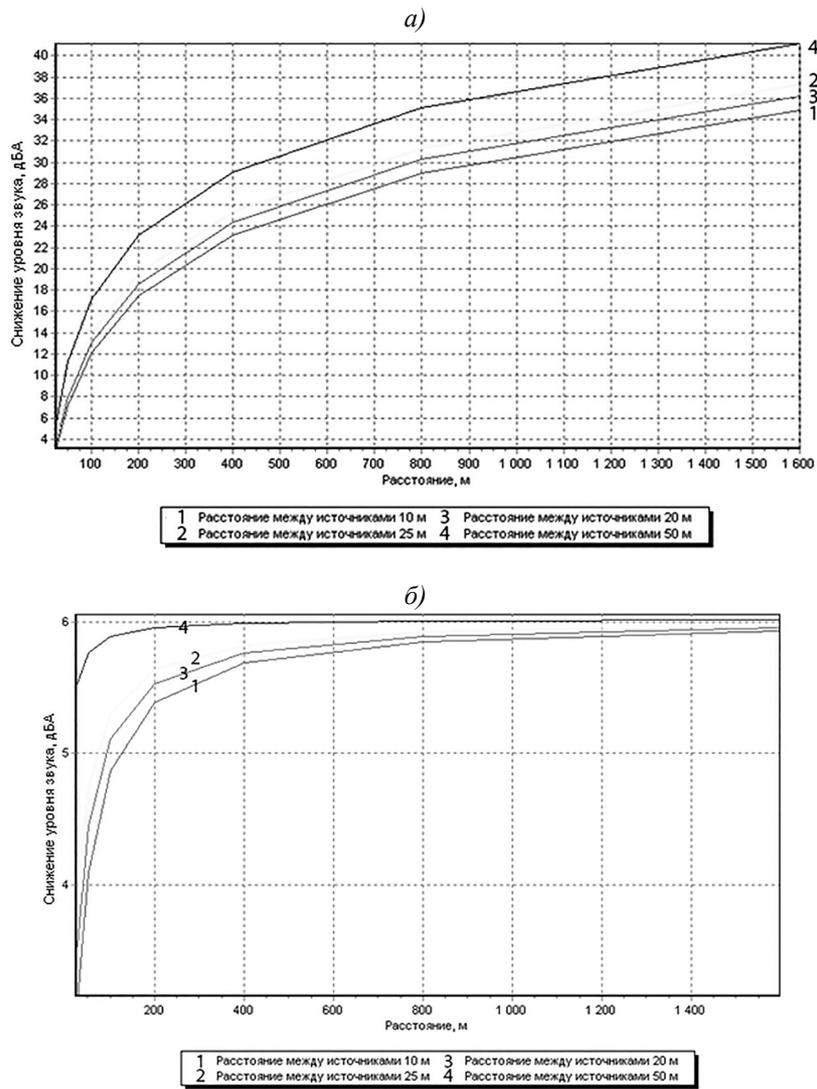
где индексы А и В означают, что все расстояния в скобках относятся только к точке А и точке В.

На рисунке 3 показано абсолютное (а) и относительное (б) понижение уровня звука от квазицилиндрического источника с ограниченной длиной при различных расстояниях и с одинаковым числом единичных источников.

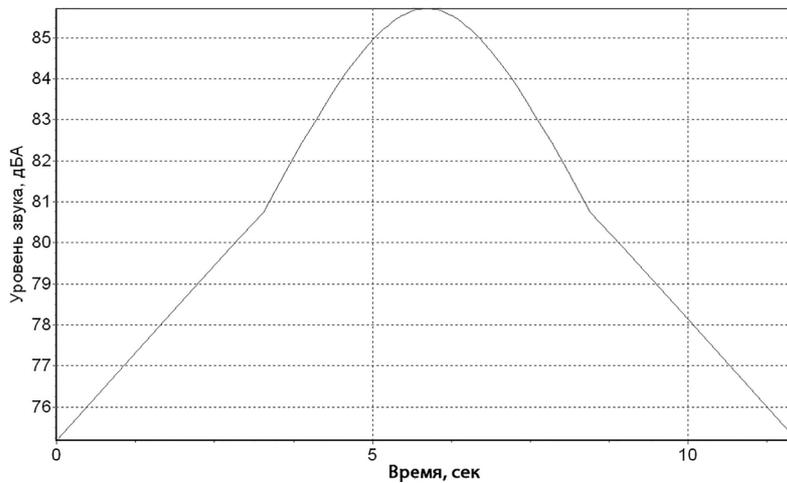
При моделировании уровня шума от движущегося поезда относительно неподвижного наблюдателя, формулы (6) и (7) сочетаются (рис. 4).

В частном случае, когда число источников  $n = 2$ , из формулы (7) следует:

$$\Delta L(r) = 20 \lg \frac{\sqrt{(2r_A)^2 + \left(\frac{\ell}{2}\right)^2}}{\sqrt{r_A^2 + \left(\frac{\ell}{2}\right)^2}}. \quad (8)$$



**Рисунок 3 – Абсолютное (а) и относительное (б) снижение уровня звука от источника с ограниченной длиной при различных расстояниях между отдельными источниками и при постоянном числе источников  $n = 20$**



**Рисунок 4 – Изменения в уровне звука поезда, движущегося со скоростью 120 км./ч. и шумовая характеристика 90 dB (A)**

На рисунке 5 видно, что снижение уровня звука при удвоении расстояния асимптотически приближается к 6 dB(A).

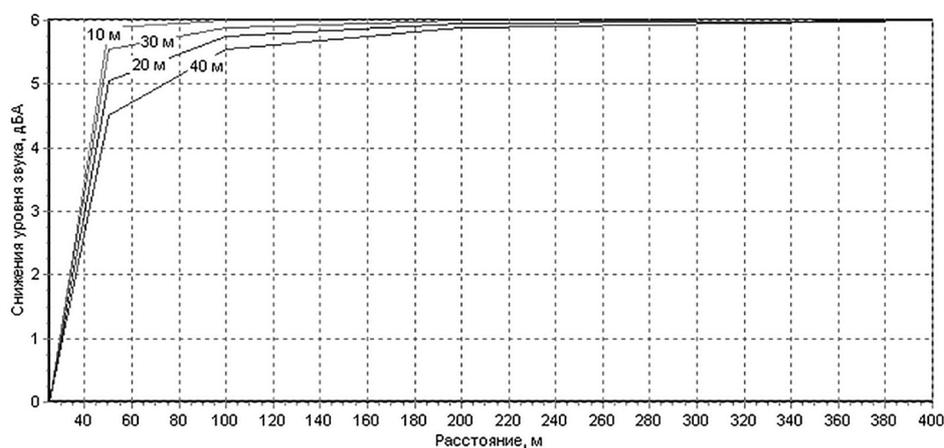


Рисунок 5

### Выводы.

1. Квазицилиндрические звуковые волны – это новый класс волн, у которых уровень шума при каждом удвоении расстояния уменьшается с более чем 3 и с менее чем 6 dB(A), в зависимости от структуры источника.
2. Источники квазицилиндрических звуковых волн могут иметь ограниченную или неограниченную длину. Для определения снижения уровня звука от этих источников созданы соответствующие математические модели.
3. Эти модели значительно сложнее ранее известных, и их практическое приложение невозможно без использования вычислительной техники.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландау, Л. Теоретическая физика. Том VI. Гидродинамика [Текст] / Л. Ландау, Е. Лифшиц. – М. – М.: Наука, 1986.
2. Николов, Н. Метод вычисления снижения уровня звука, излучаемого транспортным потоком, учитывающая интервал и плотности [Текст] / Н. Николов // Строительство. – София, 1984.
3. Николов, Н. Теория квазицилиндрических волн и методы расчета транспортного шума [Текст] / Н. Николов: Palmarium Academic Publishing, 2010. – 273 с.
4. Николов, Н. Градостроительная акустика [Текст] / Н. Николов, А. Ковачев, Д. Бенев, М. Маждраков. – София: АСМО Academic Press, 2015.
5. Скучик, Е. Основы акустики [Текст] / Скучик Е. – Москва: Мир. – 1976. – Т. 2.

#### Николов Николай Денчев

АО «ГАРАНТ ИНВЕСТ», г. Кырджали, Болгария

#### Трапов Георги Илиев

ГГУ «Св. Йоан Рилский», г. София, Болгария

#### Шубин Игорь Любимович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Доктор технических наук

#### Маждраков Методи Георгиев

ГГУ «Св. Йоан Рилский», г. София, Болгария

#### Бенев Добриян Михайлов

ООО «БЕНОВИ ИНЖЕНЕРИНГ», г. София, Болгария  
Тел.: +359 878 359 631  
E-mail: benov@benov.org

N. NIKOLOV, G. TRAPOV, I. SHUBIN,  
M. MAZHDRAKOV, D. BENOVI

## ACOUSTIC DESIGN USING THE THEORY OF QUASICYLINDRICAL SOUND WAVES

*There are two models of propagation of sound waves in acoustics - with point and line source. In the first case, the noise energy spreads spherically, in the second - cylindrically, with the cylinder of unlimited length. This assumption is contrary to natural research in the urban environment and the results of laboratory experiments. Therefore, in 1984 N. Nikolov introduced a new class of sound waves, which he called "quasi-cylindrical." From the point of view of physics, quasicylindrical waves generated by phase-emitting successive point sources. Therefore, we can expect that the wave will have properties similar to spherical for limited number of sources, and similar to cylindrical for unconfined. Consequently, the noise decreasing is less than 3 dB (A) for a doubling of the distance, and it increases no more than 6 dB (A). On this basis, N. Nikolov proposed generalized equation for the propagation of sound waves, which can be regarded as a generalized equation for similar processes in hydrodynamics.*

**Keywords:** sound waves, zakoni advance release.

### BIBLIOGRAPHY

1. Landau, L. Teoreticheskaja fizika. Tom VI. Gidrodinamika [Tekst] / L. Landau, E. Lifshic. – M. – M.: Nauka, 1986.
2. Nikolov, N. Metod vychislenija snizhenija urovnja zvuka, izluchaemogo transportnym potokom, uchityvaja interval i plotnosti [Tekst] / N. Nikolov // Stroitel'stvo. – Sofija, 1984.
3. Nikolov, N. Teorija kvazicilidricheskikh voln i metody rascheta transportnogo shuma [Tekst] / N. Nikolov: Palmarium Academic Publishing, 2010. – 273 s.
4. Nikolov, N. Gradostroitel'naja akustika [Tekst] / N. Nikolov, A. Kovachev, D. Benov, M. Mazhdakov. – Sofija: AСМО Academic Press, 2015.
5. Skuchik, E. Osnovy akustiki [Tekst] / Skuchik E. – Moskva: Mir. – 1976. – T. 2.

#### **N. Nikolov**

GARANT INVEST SA, Kardzhali, Bulgaria

#### **G. Trapov**

MGU «St. Ivan Rilski», Sofia, Bulgaria

#### **I. Shubin**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences

#### **M. Mazhdakov**

MGU «St. Ivan Rilski», Sofia, Bulgaria

#### **D. Benovi**

BENOVI ENGINEERING LTD., Sofia, Bulgaria  
Ph.: +359 878 359 631  
E-mail: benov@benov.org

ОВСЯННИКОВ С.Н., БОЛЬШАНИНА Т.С.

## КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШУМОЗАЩИТНЫХ ЭКРАНОВ В УСЛОВИЯХ СИБИРИ

*В работе изучается опыт применения различных конструкций шумозащитных экранов в условиях Сибири. Для пригородных поселков предлагаются следующие решения. Шумозащитные экраны целесообразно совмещать с высоким ограждением участков индивидуальной застройки первого фронта, а ограждение выполнять из звукопоглощающих кассет. В населенных пунктах вдоль магистральных дорог целесообразно применять протяженные шумозащитные навильоны обслуживающего характера. В качестве таких сооружений могут выступать магазины, кафе, автоцентры и гостиничные комплексы, которые будут использоваться жителями населенного пункта или транзитными пользователями.*

**Ключевые слова:** шумозащитные экраны, шумозащитные сооружения.

Одним из наиболее эффективных строительно-акустических средств снижения шума в городе являются шумозащитные экраны, размещенные между источником шума и объектами защиты от него. Шумозащитные экраны располагают для защиты жилых районов и общественных зданий на пригородных территориях от шума скоростных магистралей. Строительство экранов ведется во многих странах, в том числе и в России. В настоящее время существует большое разнообразие видов шумовых экранов. Классификация, характеристики и методы расчета шумозащитных экранов рассматриваются в работах Г.Л. Осипова [1], П.И. Пospelова [3], Н.В. Тюриной [2] и И.Л. Шубина [11] и других авторов.

К основным параметрам экранов, которые влияют на акустическую эффективность, относятся: высота, длина и расстояние от источника шума до экрана. Чем дальше экран от расчетной точки, тем эффективность экрана меньше.

Рассмотрим климатические возможности применения шумозащитных экранов в Сибири, на примере Томской области. Согласно СП 131.13330.2012 «Строительная климатология», Томск – город, относящийся к климатическому району – IV. Климат района отличается продолжительной и суровой зимой и коротким, но теплым летом. В течение года наблюдаются значительные колебания температуры воздуха.

Для Томска характерно: высота снежного покрова – 70-100 см, глубина промерзания грунта – 2,20-2,50 м по Томской области.

В связи с большой высотой снежного покрова возникает проблема уборки снега. Высота снежного покрова в Томске в 2015 году стала рекордной за последние 74 года [4], в начале марта она достигала 101-102 сантиметра [5]. Шумозащитные экраны следует размещать как можно ближе к дороге, но это затрудняет складирование и уборку снега в зимний период. При этом происходит уменьшение ширины проезжей части, при механизированной уборке можно повредить экран. Использование экранов приводит к значительным затратам на вывоз снега [6]. В реальных условиях экран приходится отодвигать на 15-20 м от дороги, вдоль насыпи устраивать канавы и лотки для отвода талых и дождевых вод. Экран устанавливается ближе к защищаемой застройке, что существенно увеличивает его высоту (рис. 1).

В зависимости от высоты экрана, близости его расположения к проезжей части и направления преобладающего ветра могут возникать наносы снега поперек проезжей части. Такие наносы опасны для транспортных средств, и создают трудности для уборки снега [6]. В 2013 году 9 марта на трассе М53 около 40 метров от Юрги в направлении Томска и Новосибирска образовалась пробка из 200 машин. Этим же днем на трассе К-19Р в снежном плену оказались 63 автомашины, в которых находилось 130 человек, из них 22 ребенка [7, 8]. Такой перемерт стал причиной смерти 4 человек в Куйбышевском районе Новосибирской области [9].

Климат Сибири характеризуется высокими ветровыми нагрузками. Преобладающее направление ветра за декабрь-февраль и за июнь-август южное. Среднемесячные и годовые

скорости ветра представлены в таблице 1 по метеостанции г. Томска. Значения среднемесячных скоростей ветра не значительны, но бывают серьезные усиления ветра, например, 10 марта 2013 г. скорость ветра достигала 19-24 м/с [8]. Такие усиления ветра могут разрушить шумозащитный экран, поэтому необходимо усилить конструкцию самого экрана и его фундамента.

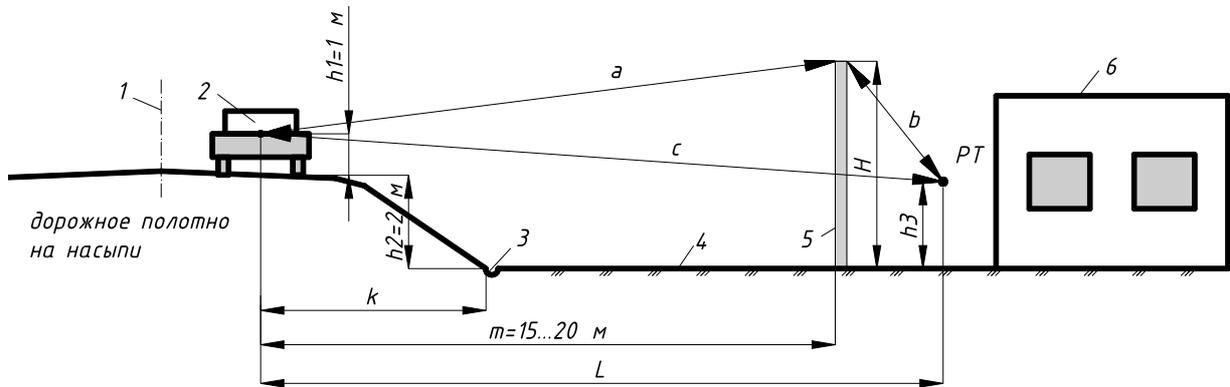


Рисунок 1 – Схема расположения шумозащитного экрана: 1 – ось дороги; 2 – источник шума; 3 – канава для отвода талых и дождевых вод; 4 – грунт; 5 – шумозащитный экран; 6 – жилой дом; PT – расчетная точка; a, b и c – направления распространения шума с учетом и без учета экрана

Таблица 1 – Среднемесячные и годовые скорости ветра

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	год
Скорость м/сек.	4.5	4.8	5.1	4.0	3.9	3.2	2.8	2.8	3.5	4.7	4.8	5.8	4.1

В Сибирском регионе сложные инженерно-геологические условия. Для Томской области характерны глинистые грунты, которые имеют свойства пучения, что осложняет строительство фундаментов под опоры экрана и приводит к удорожанию работ. Основными решениями фундаментов под экран считаются монолитный железобетонный ростверк на буронабивных сваях и монолитные железобетонные фундаменты, но на глинистых пучинистых грунтах такие фундаменты разрушаются в течение нескольких лет. Поэтому целесообразно применять безростверковые фундаменты под экраны с устройством буронабивных или винтовых свай под каждую стойку экрана, а пространство между землей и низом экрана закрывать дополнительными щитовыми элементами. Узлы конструкции экрана, разработанного для условий Сибири, представлены на рисунке 2. Экран имеет безростверковую конструкцию с опорами на буронабивных сваях. Пространство между опорами заполнено асбестоцементными щитами и отсыпкой грунтом.

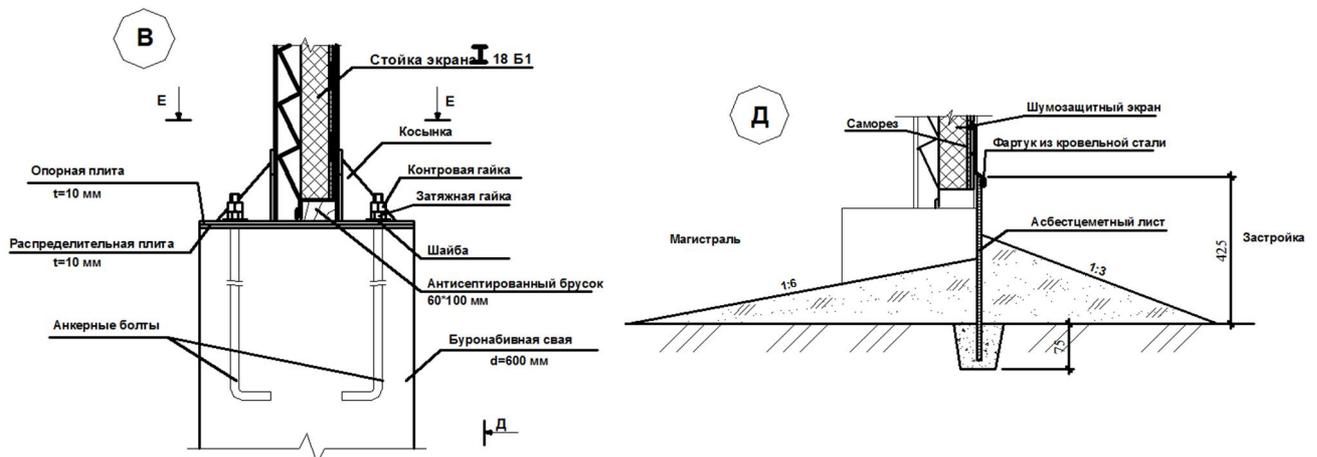


Рисунок 2 – Безростверковая конструкция экрана с опорами на буронабивных сваях

Из-за глинистых обводненных грунтов дороги приходится строить на высоких насыпях, что также ведет к увеличению высоты экрана. При проектировании и строительстве экранов значительное влияние оказывает наличие грунтовых вод и сильное обводнение грунтового основания в весенний период таяния снегов.

В более теплом климате в качестве шумозащитных мероприятий широко используются зеленные насаждения и так называемые биопозитивные стенки. Биопозитивные стенки представляют собой тяжелую конструкцию, как правило, бетонную с небольшими отсеками, которые заполняются грунтом и засаживаются растениями. Биопозитивные экраны превышают показатель по снижению уровня звука плоских железобетонных конструкций на 3-5 дБ [10]. В условиях Сибирского климата использование в качестве шумозащиты лиственных деревьев малоэффективно, так как 8 месяцев в году на деревьях отсутствует крона. Применение лесополосы из хвойных деревьев также не эффективно, плотность хвойной кроны значительно ниже, чем у лиственных пород, поэтому ширину полосы необходимо увеличивать как минимум вдвое.

В практике проектирования и строительства шумозащитных экранов в Сибири немного положительных примеров. Вследствие сложных климатических и геологических условий размещение шумозащитных экранов вызывает неприятие у инвесторов, проектировщиков и строителей дорог. Возможно два альтернативных шумозащитных решения для пригородных поселков:

1. Шумозащитные экраны целесообразно совмещать с высоким ограждением участков индивидуальной застройки первого фронта, а ограждение выполнять из звукопоглощающих кассет.
2. В населенных пунктах вдоль магистральных дорог целесообразно применять протяженные шумозащитные павильоны обслуживающего характера. В качестве таких сооружений могут выступать магазины, кафе, автоцентры и гостиничные комплексы, которые будут использоваться жителями населенного пункта транзитными пользователями. Для увеличения звуковой тени за функциональной зоной возможна установка дополнительных экранов на крышах павильонов (рис. 3).

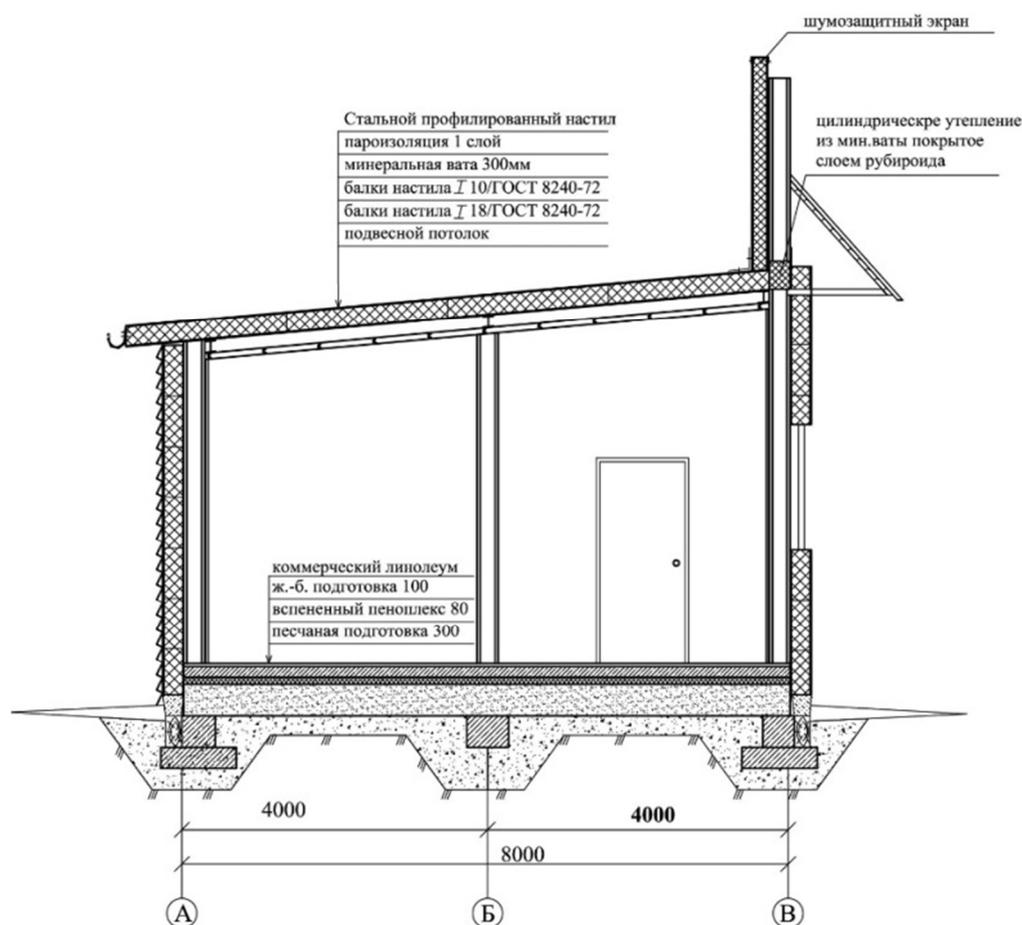


Рисунок 3 – Поперечный разрез по шумозащитному экрану-павильону

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Осипов, Г.Л. Защита от шума в градостроительстве [Текст] / Г.Л. Осипов, В.Е. Коробков, А.А. Климухин и др. – М.: Стройиздат, 1993. – 96 с.
2. Тюрина, Н.В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами [Текст]: авт. дис. .... д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург, 2014. – 298 с.
3. Поспелов, П.И. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам (1 издание) [Текст] / П.И. Поспелов, В.И. Пуркин, Б.А. Щит. – М.: ФГУП «Информавтодор», 2011. – 123 с.
4. Электронный ресурс «Высота снежного покрова в Томске стала рекордной за последние 74 года» / Режим доступа: <http://news.vtomske.ru/news/97395.html>.
5. Электронный ресурс «Высота снежного покрова в Томске составляет 165% от нормы» / Режим доступа: <http://niatomsk.ru/more/42624>.
6. Евгеньев, Г.И. Применение шумозащитных экранов на автомобильных дорогах США [Текст] / Г.И. Евгеньев // Автомобильные дороги и мосты –2005. – №5. – 77 с.
7. Электронный ресурс «Сотни автомобилей стоят в пробке на трассе М53 из-за метели» / Режим доступа <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1051602&tid=102394>.
8. Электронный ресурс «На трассе под Новосибирском в снежном плену оказались 130 человек»: Режим доступа: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1051715>.
9. Электронный ресурс «В снежном плену» / Режим доступа: <http://rusdtp.ru/15717-v-snezhnom-plenu.html>.
10. Дьяков, И.М. Исследование эффективности биопозитивных шумозащитных экранов [Текст] / И.М. Дьяков, Н.В. Царенко // Строительство и техногенная безопасность: Сборник научных трудов КИПКС. – Симферополь. Таврия, 1998. – 225 с.
11. Шубин, И.Л. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов [Текст] / И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Н. Николов, А. Писарски. – М.: ИД «БАСТЕТ», 2015. – 208 с.

**Овсянников Сергей Николаевич**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск  
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «АГиПЗ»  
Тел.: +79138593445  
E-mail: [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru)

**Большанина Таисья Сергеевна**

Томский государственный архитектурно-строительный университет, г. Томск  
Магистрант кафедры «АГиПЗ»  
E-mail: [Bolshanina\\_TS@sibmail.com](mailto:Bolshanina_TS@sibmail.com)

S. OVSIANNIKOV, T. BOLSHANINA

**CLIMATIC POSSIBILITIES OF APPLICATION OF ACOUSTIC  
SCREENS IN THE CONDITIONS OF SIBERIA**

*This paper studies the experience of using of different noise-protect screen designs in Siberia. It proposes the follow solution for suburban settlements. It is advisable to combine noise protect shields with high fencing of individual building plots on the first frontline, and carry out sound-absorbing barrier tapes. And it is advisable to use long soundproof serving halls in towns along the main roads. Since these structures can act as shops, cafes, auto centers and hotels which can be used by the village residents or transit users.*

**Keywords:** *sound barriers, sound-insulating constructions.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Osipov, G.L. Zashhita ot shuma v gradostroitel'stve [Tekst] / G.L. Osipov, V.E. Korobkov, A.A. Klimuhin i dr. – М.: Strojizdat, 1993. – 96 s.
2. Tjurina, N.V. Reshenie problemy snizhenija shuma na selitebnyh territorijah i rabochih mestah v pomeshhenijah akustichesкими jekranami [Tekst]: avt. dis. .... d-ra tehn. nauk. – Sankt-Peterburg, 2014. – 298 s.
3. Pospelov, P.I. Metodicheskie rekomendacii po zashhite ot transportnogo shuma territorij, priliegajushhих k avtomobil'nym dorogam (1 izdanie) [Tekst] / P.I. Pospelov, V.I. Purkin, B.A. Shhit. – М.: FGUP «Informavtodор», 2011. – 123 s.

4. Jelektronnyj resurs «Vysota snezhnogo pokrova v Tomske stala rekordnoj za poslednie 74 goda» / Rezhim dostupa: <http://news.vtomske.ru/news/97395.html>.
5. Jelektronnyj resurs «Vysota snezhnogo pokrova v Tomske sostavljaet 165% ot normy» / Rezhim dostupa: <http://niatomsk.ru/more/42624>.
6. Evgen'ev, G.I. Primenenie shumozashhitnyh jekranov na avtomobil'nyh dorogah SShA [Tekst] / G.I. Evgen'ev // Avtomobil'nye dorogi i mosty –2005. – №5. – 77 s.
7. Jelektronnyj resurs «Sotni avtomobilej stojat v probke na trasse M53 iz-za meteli» / Rezhim dostupa <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1051602&tid=102394>.
8. Jelektronnyj resurs «Na trasse pod Novosibirskom v snezhnom plenu okazalis' 130 chelovek»: Rezhim dostupa: <http://www.vesti.ru/doc.html?id=1051715>.
9. Jelektronnyj resurs «V snezhnom plenu» / Rezhim dostupa: <http://rusdtp.ru/15717-v-snezhnom-plenu.html>.
10. D'jakov, I.M. Issledovanie jeffektivnosti biopozitivnyh shumozashhitnyh jekranov [Tekst] / I.M. D'jakov, N.V. Careno // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost': Sbornik nauchnyh trudov KIPKS. – Simferopol'. Tavrija, 1998. – 225 s.
11. Shubin, I.L. Osnovy proektirovanija transportnyh shumozashhitnyh jekranov [Tekst] / I.L. Shubin, I.E. Cukernikov, N. Nikolov, A. Pisarski. – M.: ID «BASTET», 2015. – 208 s.

**S. Ovsianikov**

Tomsk state university of architecture and building, Tomsk  
Doctor of technical sciences, professor  
Ph.: +79138593445  
E-mail: [ovssn@tsuab.ru](mailto:ovssn@tsuab.ru)

**T. Bolshanina**

Tomsk state university of architecture and building, Tomsk  
Undergraduate  
E-mail: [Bolshanina\\_TS@sibmail.com](mailto:Bolshanina_TS@sibmail.com)

САВИН В.К., САВИНА Н.В.

## АРХИТЕКТУРА И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ОКНА

*Выполнена оценка обеспечения помещений зданий естественным светом, воздухом и показана ведущая роль наружного ограждения (стена+окно) при расчете потерь тепла помещениями зданий. Показано, что минимизацию энергетических затрат окон следует проводить на принципах системного анализа, рассматривая проблему не изолированно и не по частям, а как единое целое и за длительный срок.*

**Ключевые слова:** *окно, стена, естественный свет, микроклимат, критерий энергетической эффективности наружного ограждения, сопротивление теплопередаче конструкции, энергосбережение.*

Архитектурный и практический интерес к окнам необходим для осмысления настоящего и будущего. Он нужен для предостережения людей от применения затратных технологий. Теоретические основы, модель и метод минимизации суммарных энергетических затрат (экономии первичных энергоресурсов) при строительстве и эксплуатации окон необходимо рассматривать с позиции всеобщего фундаментального закона кругооборота энергии в природе, в котором участвуют только четыре величины: энергия, вещество, пространство и время. Из закона следует, что в мироздании природа осуществляет «хозяйственную деятельность» без применения денежных знаков, а использует энергетическую единицу измерения, например, киловатт-час.

Основное назначение окон жилых зданий – обеспечение помещений зданий естественным светом. Особая роль отводится естественному освещению, потому что свет является ключевым биологическим фактором, от которого зависит здоровье и производительность труда человека. Естественный свет регулирует обмен веществ в организме человека, он влияет на его иммунологическое состояние. От освещенности помещения зависит также психоэмоциональное состояние человека. Без света у детей развивается рахит, а у взрослых - авитаминоз. При длительном пребывании человека в помещении с недостаточным освещением он теряет зрение и у него появляются все перечисленные выше симптомы светового голодания, которые приводят к инвалидности и преждевременной смерти.

Одновременно с обеспечением помещений здания естественным светом с помощью окон в нем создается необходимый микроклимат. Он характеризуется состоянием внутренней среды помещения, которая должна удовлетворять физиологическим и психоэмоциональным потребностям человека и обеспечивать стандартные минимальные качества жизни. Жилище человека, в котором он проводит 70-80% своей жизни, должно быть экологически чистым, защищать людей от вредных воздействий шума и химических веществ, возникающих в помещениях вследствие применения некачественных материалов. Пребывание людей в помещении должно вызывать положительные эмоции, соответствовать его духовным требованиям и санитарно-гигиеническим регламентам. Жилище должно отвечать не только требованиям гигиены и культурного быта, но и способствовать восстановлению творческих сил и здоровья населения. Исходные данные для проектирования необходимого микроклимата помещений изложены в различных нормативных документах и в, частности, в [1-5]. Решить задачу минимизации энергетических затрат окна, выбирая из них наиболее энергоэффективное, можно только на принципах системного анализа, рассматривая проблему не изолированно и не по частям, а как единое целое и за длительный срок.

Микроклимат в помещениях жилых зданий создается с помощью ограждающих конструкций. Среди них окна играют главную роль, обеспечивая необходимый тепловой, воздушный и световой климат, а также защищают людей от шума. Но оконный блок нельзя рассматривать отдельно от стен. Поэтому проектирование наружного ограждения (стена+окно)

необходимо вести, исходя из условий обеспечения помещения светом и теплом при минимальных энергетических затратах за срок его жизни [6].

В восьмидесятых годах прошлого столетия для оценки расхода энергии при эксплуатации здания в работе [7] был предложен критерий энергетической эффективности наружного ограждения. Более подробно он изложен в [6, 9]. Критерий представляет собой отвлеченную безразмерную величину, которая связывает свето-теплозащитные свойства двух разной конструкции окон с теплозащитными свойствами стены. Критерий энергетической эффективности наружного ограждения показывает насколько при одинаковом естественном освещении помещения и одинаковых площадях ограждений удельные теплотери рассматриваемого ограждения или его приведенные сопротивления меньше или больше эталонного наружного ограждения, т.е.:

$$k_{оэп}^{эф} = \frac{q_{оэп}}{q_{оэп}^э} = \frac{R_{оэп}^{нр.э}}{R_{оэп}^{нр.}}, \quad (1)$$

где  $q_{оэп}$ ,  $q_{оэп}^э$  - соответственно средние удельные теплотери наружного ограждения и ограждения-эталона за год, Вт/м<sup>2</sup> год;

$R_{оэп}^{нр.}$ ,  $R_{оэп}^{нр.э}$  - соответственно приведенное сопротивление теплопередаче ограждения и ограждения-эталона, м<sup>2</sup>°C/Вт.

Эталонное наружное ограждение (окно-стена) является комплексной единицей измерения свето-теплозащитных свойств для любых ограждающих конструкций и, сравнивая с ним другие ограждения, состоящие из разных видов окон и стен, мы получаем безразмерные отвлеченные величины критерия  $k_{эф}^{оэп}$ , из которых можно выбрать его наименьшее значение. Но для этого необходимо знать свето-теплозащитные свойства эталона.

Доказано, что при обеспечении в расчетной точке помещения нормируемого значения КЕО между площадями окон и их общими коэффициентами светопропускания существует однозначная зависимость [6-9]:

$$\frac{F_{ок}}{F_{ок}^э} = \frac{\tau_0^э}{\tau_0}. \quad (2)$$

Из (2) находим равноценную площадь сравниваемого оконного блока:

$$F_{ок} = \frac{F_{ок}^э \cdot \tau_0^э}{\tau_0}. \quad (3)$$

Площадь ограждающей конструкции эталона или рассматриваемой конструкции равна  $F_{оэп} = F_{ст}^э + F_{ок}^э = F_{ст} + F_{ок}$ . (4)

Расчеты по выявлению энергоэффективного оконного блока можно вести, используя уравнение:

$$\Delta F_{ст}^э = F_{ок} - F_{ок}^э.$$

Приведенное сопротивление теплопередаче ограждения рассчитывается по формуле:

$$R_{оэп}^{нр.} = \frac{F_{ок} + F_{ст}}{\frac{F_{ок}}{R_{ок}^{нр.}} + \frac{F_{ст}}{R_{ст}^{нр.}}}. \quad (5)$$

В работах [10-11] был использован предложенный нами метод расчета в части уточнения свето- и теплотехнических свойств окон.

В таблице 1 представлены расчеты приведенного сопротивления теплопередаче различных наиболее характерных ограждений (стена-окно) и вычислены их критерии энергетической эффективности. Расчеты выполнены для стены, приведенное сопротивление теплопередаче которой равно единице. При других более высоких значениях  $R_{ст}^{нр.}$  результаты расчетов критерия энергетической эффективности по формуле (5) практически остаются неизменными.

Таблица 1 – Критерий энергетической эффективности окон при  $R_{cm}^2 = 1, \text{ м}^2\text{С/Вт}$

Заполнение светового проема (оконные блоки)	$\tau_0$	$R_{ок}^{np}, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$R_{озп}^{np}, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$k_{озп}^{\text{эф}}$
Двойное остекление в деревянных спаренных переплетах ГОСТ11214 <b>Эталон</b>	0,61	0,40	0,77	1,0
Одинарное остекление в деревянных переплетах ГОСТ11214	0,68	0,17	0,55	1,4
Двойное остекление в деревянных раздельных переплетах ГОСТ11214	0,54	0,44	0,78	0,99
Тройное остекление в деревянных раздельно-спаренных переплетах ГОСТ16289	0,36	0,55	0,78	0,99
В одинарном переплете с однокамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным покрытием ГОСТ24700	0,54	0,64	0,88	0,87
В одинарном переплете с двухкамерным стеклопакетом ГОСТ24700	0,58	0,53	0,84	0,92
В одинарном переплете с двухкамерным стеклопакетом с низкоэмиссионным покрытием ГОСТ24700	0,44	0,8	0,93	0,83

Из анализа результата расчетов можно сделать следующие выводы:

- при однослойном остеклении критерий энергетической эффективности больше единицы, хотя окно имеет самые высокие светотехнические свойства. Это явление связано с его очень низкими теплозащитными качествами;
- в конструкциях окон с двух- и трехслойным остеклением без применения стекол с низкоэмиссионным покрытием критерий энергетической эффективности незначительно уменьшается на 1-8%;
- в окнах с двух- и трехслойными стеклопакетами критерий энергетической эффективности существенно снижается на 13-17%.

В настоящее время во всем мире конструкции окон с низкоэмиссионными стеклами широко рекламируются и применяются в строительстве. Однако следует помнить, что Петр Первый был первым, кто прорубил окно в Европу. Европа же в образовавшийся проем вставила свои так называемые «энергоэффективные» окна, и ситуация в России изменилась в худшую сторону.

Применение теплоотражающих покрытий увеличивает термическое сопротивление окон за счет уменьшения лучистой составляющей теплового потока (снижения степени черноты поверхности тела). При нанесении на силикатное стекло специальных пленочных покрытий часть падающей на них тепловой энергии отражается и возвращается в помещение. Теплоотражающие свойства светопрозрачных материалов получают путем нанесения на одну из поверхностей обычного бесцветного стекла тонких прозрачных покрытий (золота, серебра, меди, алюминия, никеля, окислов металла, керамических и полимерных покрытий). Более ранние отечественные исследования окон с применением теплоотражающих стекол [12,13] показали, что в таких конструкциях сопротивление теплопередаче увеличивается на 20-50%.

В таблице 2 для стеклопакета с шириной воздушной прослойки  $h=16$  мм приведены расчеты термического сопротивления воздушной прослойки и сопротивления теплопередаче при постоянной температуре на теплой поверхности воздушной прослойки  $t_1=10^\circ\text{C}$ . На холодной она изменялась от 0 до минус  $30^\circ\text{C}$  [6].

Таблица 2 – Изменение термического сопротивления воздушной прослойки  $\bar{R}_{e,n}$  и сопротивления теплопередаче  $\bar{R}_0$  в зависимости от температуры  $t_2$  и  $\varepsilon_2$ .

Температура холодной поверхности $t_2, ^\circ\text{C}$	$\varepsilon_2=0,9$		$\varepsilon_2=0,1$		$\varepsilon_2=0,05$	
	$\bar{R}_{e,n}, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$\bar{R}_0, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$\bar{R}_{e,n}, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$\bar{R}_0, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$\bar{R}_{e,n}, \text{ м}^2\text{С/Вт}$	$\bar{R}_0, \text{ м}^2\text{С/Вт}$
0	0,15	0,32	0,37	0,55	0,41	0,59
-5	0,15	0,32	0,35	0,53	0,38	0,56
-10	0,15	0,32	0,33	0,51	0,36	0,54
-20	0,15	0,32	0,32	0,50	0,33	0,51
-30	0,15	0,32	0,29	0,47	0,31	0,49

Анализ расчетов показывает, что сопротивление теплопередаче стеклопакета при различных значениях  $t_2$  и применении строительных стекол без нанесения на них низкоэмиссионного покрытия постоянно и соответственно равно  $R_{e.n.}=0,15 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ ,  $R_o=0,32 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ . При нанесении на одно из стекол теплозащитного (теплоотражающего) покрытия значения  $R_{e.n.}$  и  $R_o$  увеличиваются и зависят как от разности температур  $(t_1-t_2)$ , так и от их абсолютных значений. Наибольшее значение сопротивления теплопередаче стеклопакета  $R_o=0,55 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  достигается при  $\varepsilon_2=0,05$ .

В ФРГ для определения термического сопротивления конструкции разработана методика ДИН 52619 часть 2(А). Суть методики состоит в определении температуры  $\tau_e$  на внутренней поверхности ограждения и наружной  $\tau_n$ . Термическое сопротивление конструкции определяется при разности температур  $\tau_e-\tau_n=10^\circ\text{C}$ . Эта методика порочна, так как не соответствует режиму эксплуатации окон в реальных климатических условиях России. Ее можно применять только для климатических районов с положительными температурами когда  $\tau_e-\tau_n<10^\circ\text{C}$ . По немецкой методике определения уровня теплозащиты конструкций с воздушными прослойками мы всегда будем получать завышенные результаты.

Важными вопросами при проектировании наружных ограждений с теплозащитными покрытиями является выбор ширины воздушной прослойки и места расположения металлизированного, низкоэмиссионного покрытия в конструкции.

В таблице 3 показаны результаты теплотехнического расчета вертикального ограждения при изменении ширины воздушной прослойки от 4 до 50 мм и степени черноты  $\varepsilon_2$  от 0 до 0,94. При этом температура на теплой стороне воздушной прослойки  $t_1=10^\circ\text{C}$ , на холодной –  $t_2=-30^\circ\text{C}$ .

Таблица 3 – Изменения средних значений  $\bar{\alpha}_{e.n.}^k$ ,  $\bar{R}_{e.n.}$ ,  $\bar{R}_o$  от ширины воздушной прослойки  $h$  и  $\varepsilon_{ип}$  при  $t_1=10^\circ\text{C}$ ,  $t_2=-30^\circ\text{C}$

$h$ , мм	$\varepsilon_{ип}=0,89$		$\varepsilon_{ип}=0,1$	
	$\bar{R}_{e.n.}$	$\bar{R}_o$	$\bar{R}_{e.n.}$	$\bar{R}_o$
6	0,128	0,30	0,23	0,40
8	0,133	0,30	0,24	0,41
10	0,137	0,31	0,26	0,43
12	0,140	0,31	0,27	0,44
16	0,146	0,32	0,29	0,47
20	0,148	0,32	0,30	0,47
50	0,155	0,33	0,32	0,49

Анализ результатов расчета показывает, что при отсутствии в конструкции теплоотражающего покрытия сопротивление теплопередаче конструкции увеличивается с 0,3 до  $0,33 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ , т.е. на 14%. Градиент увеличения уровня теплозащиты в диапазоне изменения  $h=16-50\text{мм}$  незначительный. Сопротивление теплопередаче  $R_o$  в этом диапазоне изменения от 0,32 до  $0,33 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$  (на 3%). Отсюда вытекает важный вывод, что в стеклопакетах оптимальной шириной является воздушная прослойка, равная  $h=16\text{мм}$ , термическое сопротивление которой  $R_{e.n.}=0,146 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ . В этом случае сопротивление теплопередаче конструкции равно  $R_o=0,32 \text{ м}^2\text{°C/Вт}$ . Чтобы повысить уровень теплозащиты ограждения на 3%, требуется увеличить ширину воздушную прослойку в 3 раза, а это связано с дополнительными энергетическими затратами на изготовление конструкции. При изготовлении двухкамерных стеклопакетов целесообразно выбирать ширину воздушной прослойки  $h=12 \text{ мм}$ . Такая величина соизмерима с эффектом сбережения тепла при эксплуатации здания и энергетическими затратами при изготовлении конструкции.

При естественном воздухообмене окно должно обеспечить подачу приточного воздуха в помещения с помощью форточки. Однако, сейчас в окнах форточки исчезли. Такое случа-

лось и в СССР, но они быстро возвращались в квартиры сначала самими жителями, а затем законами государства.

Заместителем Госстроя России Л.С. Бариновой в 2003 году был издан указ следующего содержания: «Широкое применение в практике отечественного строительства новых оконных конструкций из поливинилхлорида и клееной древесины, оснащенных стеклопакетами и поворотно-откидными устройствами для открывания, что вызвало вопросы со стороны проектных организаций и предприятий строительной индустрии. Эти вопросы связаны с малой воздухопроницаемостью новых оконных систем в закрытом положении, (что обусловлено требованиями энергосбережения), а также отсутствием в конструкциях изделий форточного элемента. При этом проектировщики и изготовители не всегда учитывают требования нормативной документации по подаче воздуха во внутренние помещения зданий, особенно при замене оконных блоков в эксплуатируемых помещениях. Госстрой России обращает внимание, что, согласно действующим строительным нормам и правилам, подача приточного воздуха в жилых зданиях должна производиться через регулируемые открывающиеся элементы оконных блоков или другие устройства. ГОСТ 23166-99 устанавливает, что для проветривания помещений оконные блоки должны быть оснащены форточками, фрамугами, створками с откидным (поворотно-откидным) регулируемым открыванием».



*Рисунок 1 – Здание с окнами различной архитектурной формы*

На рисунке 1 представлено здание с окнами различной архитектурной формы. Такая разнообразная форма окон отвечает психологическим и эстетическим запросам человека. Но в этой форме не просматривается научное творчество ни ученого, ни инженера, потому что при минимальных энергетических затратах за срок жизни окон в помещениях не обеспечиваются комфортные условия. Окна верхнего этажа проигрывают в освещении, так как из-за арочной части окна снижается освещенность в расчетной точке помещения. Во всех окнах в закрытом их состоянии при естественной вентиляции невозможно обеспечить нормы по вентиляции. В открытом или приоткрытом положении створок окон в рабочей зоне помещений скорости воздуха будут выше нормируемых значений.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 30494-96 «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях» [Текст]. – М., 1999.
2. СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» [Текст]. – М., 2005.
3. СНиП 23-02-2003 «Теплозащита зданий» [Текст], 2004.
4. Горомосов, М.С. Микроклимат жилищ и его гигиеническое нормирование [Текст] / М.С. Горомосов. – М., 1960.
5. Губернский Ю.Д. Жилище для человека [Текст] / Ю.Д. Губернский, В.К. Лицкевич. – М.: Стройиздат, 1991.
6. Савин, В.К. Строительная физика: энергоперенос, энергоэффективность, энергосбережение [Текст] / В.К. Савин. – М.: Лазурь, 2005.

7. Савин, В.К. Теплотехнические, светотехнические и экономические основы проектирования окон зданий, строящихся на севере [Текст] / В.К. Савин // Энергоэффективные здания. Советско – финский семинар. – М., 1984. – Часть 1.

8. Савин, В.К. Методика расчета теплотерь наружного ограждения зданий с учетом светотеплотехнических свойств окон и уровня теплозащиты стен [Текст] / В.К. Савин // Окна и двери. – 2002. – №4-5.

9. Савин, В.К. Критерий энергетической эффективности наружного ограждения [Текст] // Окна и двери. – 2001. – №4(49).

10. Земцов, В.А. Расчетно-экспериментальный метод определения общего коэффициента пропускания света оконными блоками [Текст] / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2010. – №3.

11. Земцов, В.А. Метод расчета светопропускания оконных блоков с использованием экспериментальных данных по светопропусканию стекол [Текст] / В.А. Земцов, Е.В. Гагарина // Светопрзрачные конструкции [Текст]. – 2010. – №5-6.

12. Семенова, Е.И. Теплотехнические исследования окон с теплоотражающими стеклами [Текст] // Е.И. Семенова. – М.: ЦНИИЭПжилища, 1976.

13. Гулябянц, Л.А. Снижение теплотерь через окна за счет использования стекол с низкой степенью черноты [Текст] / Л.А. Гулябянц, Ф.В. Ключников // Исследования по вопросам экономии энергии при строительстве и эксплуатации зданий. – М.: НИИСФ, 1982.

#### **Савин Владимир Вонстантинович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией теплофизики и строительной климатологии

Тел.: +7 (495) 482-39-58

E-mail: vngeo12@yandex.ru

#### **Савина Надежда Владимировна**

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Инженер, доцент

---

V. SAVIN, N. SAVINA

## **THE ARCHITECTURE AND THE ENERGY EFFICIENCY OF THE WINDOW**

*Performed the valuation of the collateral, premises with natural light, air and shows the leading role of outdoor enclosures (wall+window) when calculating the heat loss of the building premises. It is shown that the minimization of the energy cost of Windows should be on the principles of system analysis, considering the problem not in isolation and not in parts but as a whole and over the long term.*

**Keyword:** window, wall, natural light, microclimate, the criterion of energy efficiency of outdoor enclosures, the resistance to heat transfer design, energy saving.

### **BIBLIOGRAPHY**

1. GOST 30494-96 «Zdaniya zhilye i obshhestvennye. Parametry mikroklimata v pomeshhenijah» [Текст]. – М., 1999.
2. SNiP 23-05-95\* «Estestvennoe i iskusstvennoe osveshhenie» [Текст]. – М., 2005.
3. SNiP 23-02-2003 «Teplozashhita zdaniy» [Текст], 2004.
4. Goromosov, M.S. Mikroklimat zhilishh i ego gigienicheskoe normirovanie [Текст] / M.S. Goromosov. – М., 1960.
5. Gubernskij Ju.D. Zhilishhe dlja cheloveka [Текст] / Ju.D. Gubernskij, V.K. Lickevich. – М.: Strojizdat, 1991.
6. Savin, V.K. Stroitel'naja fizika: jenergooperenos, jenergoeffektivnost', jenergosberezhenie [Текст] / V.K. Savin. – М.: Lazur', 2005.
7. Savin, V.K. Teplotehicheskie, svetotehicheskie i jekonomicheskie osnovy proektirovanija okon zdaniy, strojashhihsja na severe [Текст] / V.K. Savin // Jenergoeffektivnye zdaniya. Sovetsko – finskij seminar. – М., 1984. – Chast' 1.
8. Savin, V.K. Metodika rascheta teplopoter' naruzhnogo ograzhdenija zdaniy s uchetom svetoteplotehnicheskikh svojstv okon i urovnja teplozashhity sten [Текст] / V.K. Savin // Okna i dveri. – 2002. – №4-5.

9. Savin, V.K. Kriterij jenergeticheskoj jeffektivnosti naruzhnogo ograzhdenija [Tekst] // Okna i dveri. – 2001. – №4(49).
10. Zemcov, V.A. Raschetno-jeksperimental'nyj metod opredelenija obshhego kojefficienta propuskaniya sveta okonnymi blokami [Tekst] / V.A. Zemcov, E.V. Gagarina // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M., 2010. – №3.
11. Zemcov, V.A. Metod rascheta svetopropuskaniya okonnyh blokov s ispol'zovaniem jeksperimental'nyh dannyh po svetopropuskaniju stekol [Tekst] / V.A. Zemcov, E.V. Gagarina // Svetoprozrachnye konstrukcii [Tekst]. – 2010. – №5-6.
12. Semenova, E.I. Teplotehnicheskie issledovanija okon s teplootrazhajushhimi steklami [Tekst] // E.I. Semenova. – M.: CNIIJePzhilishha, 1976.

**V. Savin**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, head of laboratory of thermal physics and building climatology  
Ph.: +7 (495) 482-39-58  
E-mail: vngeo12@yandex.ru

**N. Savina**

Moscow state construction university, Moscow  
Engineer, associate professor

СКОБЕЛЕВА Е.А.

## АНАЛИЗ ПРЕДЛОЖЕНИЙ К ОЦЕНКЕ МИКРОКЛИМАТА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ И КОМФОРТНОЙ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

*В работе проанализированы биоклиматические индексы, наиболее часто используемые для оценки температурного комфорта человека, пребывающего на открытых городских территориях. Выполнен анализ исследований влияния пространственной организации городской застройки на температурный комфорт для различных типов климата. Рассмотрены результаты численных исследований по определению одного из наиболее показательных биоклиматических индексов – физиологически-эквивалентной температуры (PET) – для «городских каньонов» с различными параметрами, в числе которых отношение высоты зданий к ширине коридора между ними (коэффициент H/W), открытость небосвода – «Sky View Factor» (SVF), ориентация улиц по сторонам света, асимметрия профилей улиц, типы фасадов, виды и схемы посадки зеленых насаждений. Показана необходимость разработки научно-обоснованных рекомендаций по созданию экологического комфорта градостроительными методами при планировании новых, реконструкции и развитии существующих городских микрорайонов.*

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, температурный режим, открытые пространства, энергетический баланс, биоклиматические индексы.

По некоторым оценкам, к 2025 году доля городских жителей превысит 60% по отношению к общей численности населения Земного шара [1]. В настоящее время в России, как и в большинстве других стран, наблюдается продолжение роста центральных городских агломераций за счет стремительного уменьшения сельского населения. При этом на сегодняшний день в нашей стране в отличие от стран Западной Европы, Канады и США преобладает тенденция интенсивного использования городской территории, когда прирост населения превышает прирост площади территории для его размещения [2]. Возникающие при этом «тепловые острова» в пределах густонаселенных мест наносят экологический ущерб не только в глобальном планетарном масштабе, но и существенно влияют на температурный комфорт городских жителей. Разница температур в центральной части города и в пригородной зоне для большинства городов составляет 1-4°C. Например, для Штутгарта (Германия) с населением 600 тысяч человек средняя разница температур в центре города и на метеостанции аэропорта достигает 2°C [4], для города Дакка (Бангладеш) – 11°C [5]. На построенных климатических (температурных) картах городов [6-8] отражено повышение температуры атмосферы в центральных частях и индустриальных районах городов и существенное ее снижение в озелененных жилых районах с низкой плотностью населения, в парках и скверах.

В качестве примера оценим разницу температур воздуха на метеостанциях близкорасположенных городов центральной России с разной плотностью населения: г. Орел (31,2 чел./1 км<sup>2</sup>), Мценск (расположен в 48 км к СВ от г. Орла, 1,9 чел./1 км<sup>2</sup>), Карачев (расположен на 74 км западнее г. Орла, 1,2 чел./1 км<sup>2</sup>), высота городов над уровнем моря – 197 м, 201 м, 212 м соответственно. На метеостанции г. Орла средние месячные температуры атмосферного воздуха с разницей до 0,8°C выше, чем в двух других городах. Аналогичный вывод можно сделать и по максимальной разнице среднемесячной температуры в июле за период с 2007 по 2014 гг., равной 1,3°C (рис. 1).

Между тем, составление климатических карт только на основе температуры воздуха не может в полной мере отразить особенности теплового восприятия человека. Для количественной оценки уровня температурного комфорта человека в пространственной среде более объективными являются различные биоклиматические индексы. К настоящему времени разработаны индексы различных типов, одновременно учитывающие, например, температуру и влажность; температуру и ветер; температуру, ветер, влажность и солнечную радиацию и др. Ана-

лиз работ по оценке городского микроклимата показал, что наиболее употребляемыми биоклиматическими индексами для определения условий температурного комфорта человека, пребывающего на открытых пространствах в городе, являются следующие:

- индекс дискомфорта ( $DI$ ) [9, 10];
- воспринимаемая температура ( $PT$ ) [11];
- эквивалентно-эффективная температура (ЭЭТ) [12];
- радиационно-конвективная температура по влажному термометру ( $WBGT$ ) [13];
- универсальный температурный климатический индекс ( $UTCI$ ) [14];
- индекс, определенный голосованием по субъективным ощущениям ( $ASV$ ) [15,16];
- физиологически-эквивалентная температура ( $PET$ ) [17] и некоторые другие.

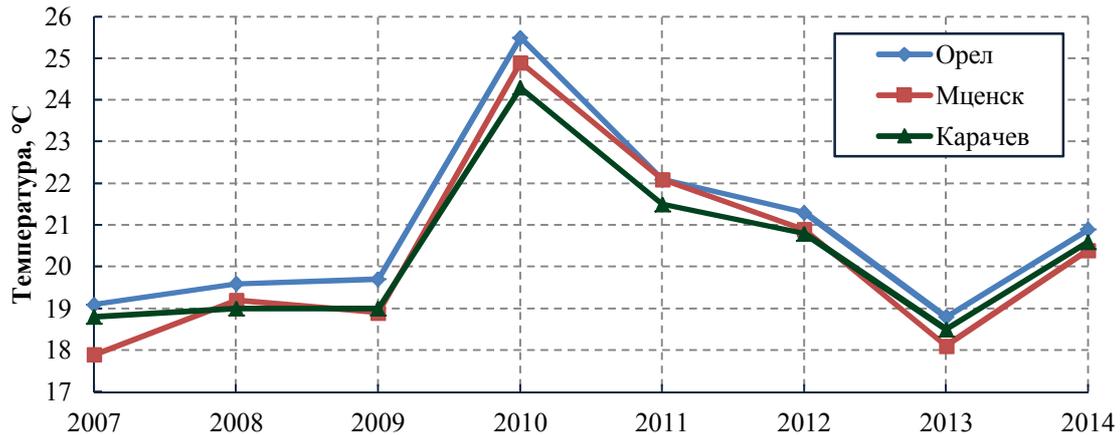


Рисунок 1 – Среднемесячные температуры наружного воздуха, зафиксированные на метеостанциях городов Орел, Мценск и Карачев в период с мая по сентябрь 2014 г. (а), с ноября по февраль 2014 г. (б), за июль в период с 2007 по 2014 гг. (в) (по архиву [5])

Расчетные модели интегральных температурных индексов, используемых в определении энергетического баланса человеческого тела при анализе уровня комфортности городского микроклимата, основаны на определении средней радиационной температуры  $T_{mrt}$ , являющейся наиболее важным метеорологическим параметром, влияющим на энергетический баланс человека во время солнечных погодных условий [18]. Для расчета  $T_{mrt}$  поверхность тела человека делится на  $n$  изотермических поверхностей с температурой  $T_i$  и коэффициентом излучения  $\varepsilon_i$ :

$$T_{mrt} = \left[ \frac{1}{\sigma} \sum_{i=1}^n \left( E_i + a_k \frac{D_i}{\varepsilon_p} \right) F_i \right]^{0,25}, \quad (1)$$

где  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К}^4)$  – постоянная Стефана-Больцмана;  $\varepsilon_p$  – коэффициент излучения человеческого тела (принимают равным 0,97);  $D_i$  – включает в себя рассеянную солнечную радиацию и диффузно отраженную глобальную радиацию;  $a_k$  – коэффициент поглощения облучаемой поверхности тела коротковолнового излучения;  $E_i$  – значение длинноволновой радиации, определяется как  $E_i = \varepsilon_i \cdot \sigma \cdot T_i^4$ ;  $F_i$  – уровень закрытости участка тела человека (наличие одежды).

**Воспринимаемая температура ( $PT$ )** является температурно-влажностным биоклиматическим индексом, представляет собой эквивалентную температуру, основанную на определении энергетического баланса тела человека. Данный индекс разработан для условий пребывания на открытом воздухе и определяется как температура воздуха в эталонной среде, в которой тепловое восприятие будет таким же, как в реальных климатических условиях [11]. Показатель с достаточной определенностью может быть определен по индексу Humidex [19]. Для температурного комфорта значения  $PT$  должны находиться в интервале 0-20°C.

**Индекс дискомфорта** – биоклиматический показатель, значение которого зависит от температуры воздуха и относительной влажности, измеряется в градусах по Цельсию [20]:

$$DI = TEM - 0.55(1 - 0.01HUM)(TEM - 14.5), \quad (2)$$

где  $TEM$  – температура воздуха (°C);  $HUM$  – относительная влажность (%).

Предложено считать [20], что при ( $DI < 21^{\circ}\text{C}$ ) человек не чувствует дискомфорта, при ( $29^{\circ}\text{C} \leq DI \leq 32^{\circ}\text{C}$ ) – любой житель чувствует дискомфорт, ( $DI > 32^{\circ}\text{C}$ ) соответствует небезопасным для здоровья климатическим условиям.

Недостатком таких показателей ( $PT$  и  $DI$ ) является их ограниченная применимость, поскольку они определяются при скорости воздушного потока менее 0,2 м/с, более того, они не позволяют учесть влияние солнечной радиации, поэтому используются чаще всего для оценки теплового комфорта в помещениях.

Температурно-влажностным биоклиматическим показателем, учитывающим видимое и инфракрасное излучение, является **радиационно-конвективная температура по влажному термометру (WBGT)** [13]. Данный индекс в основном применяется в промышленной гигиене и военной экологии. Определяется по следующей формуле:

$$WBGT = 0,7T_h + 0,2T_g + 0,1T_s, \quad (3)$$

где  $T_h$  – температура влажного термометра,  $T_g$  – температура радиационного термометра,  $T_s$  – температура сухого термометра. Индекс WBGT, тем не менее, не позволяет учесть влияние скорости ветра на теплоощущение человека.

Несмотря на имеющиеся недостатки, индексы  $DI$  и  $WBGT$  нашли применение в методике определения показателя минимально необходимой площади озеленения по уровню теплового комфорта городских жителей для Валенсии (Испания) [21]:

$$DI = 68,3513 - 32,1545K; \quad (4)$$

$$WBGT = 72,5075 - 47,1822K, \quad (5)$$

где  $K$  – площадь озелененной территории на 1000 м<sup>2</sup> общей площади.

Одновременный учет температуры воздуха, влажности и скорости ветра можно выполнить, например, с помощью **эквивалентно-эффективной температуры (ЭЭТ)**. Зона комфорта при этом определяется как совокупность метеорологических условий, в которых человек получает субъективно хорошее теплоощущение, удерживает нормальный теплообмен, сохраняет нормальную температуру тела и не выделяет пота [12]. Так, данный индекс предлагается использовать в «Руководстве по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки» [22] при определении комфортности окружающей человека среды. Главным недостатком указанного индекса является то, что он не позволяет учесть величину солнечной радиации, т.е. может быть полезен в расчетах только для затененных пространств.

Комплексное сочетание температуры воздуха, значение глобальной солнечной радиации, скорости ветра и относительной влажности можно учесть, например, путем составления корреляционных зависимостей между климатическими условиями и оценками температурных ощущений городскими жителями. Так, расчет **индекса, определяемого голосованием по субъективным ощущениям (ASV)** [15,16], производится с помощью анализа результатов голосования по пятиступенчатой шкале – от «очень холодно» до «очень жарко». Климатические параметры, соответствующие условиям, которые большинство интервьюируемых людей признали комфортными, являются искомыми составляющими индекса ASV для рассматриваемой территории (города). По предлагаемой методике были получены расчетные формулы индекса для Афин, Салоники, Милана, Фрибурга, Кассела, Кембриджа, Шеффилда, а также в среднем для Европы [15], проведены исследования для Дакки (Бангладеш) [4] и некоторых других регионов. Недостатком такого подхода является высокая трудоемкость и – для достижения объективного результата и достаточной точности – необходимость проведения исследований для каждого региона.

**Универсальный температурный климатический индекс (UTCI)** является эквивалентной температурой для условий эталонной среды, в которой относительная влажность составляет 50%, скорость движения воздуха минимальна, средняя радиационная температура равна температуре воздуха [14]. Тепловой стресс определяется по десятибалльной шкале: от «экстремального теплового стресса» до «экстремального холодного стресса». Комфортные значения показателя лежат в интервале 18-26°C.

**Физиологически-эквивалентная температура (PET)** также является универсальным показателем, основанном на мюнхенской модели энергетического баланса тела человека [17],

учитывающем температуру внутренних органов, интенсивность потоотделения, влажность кожи, с одной стороны, и метеорологические параметры, в том числе влияние на них условий городской застройки, – с другой стороны. Несмотря на неоспоримые преимущества PET перед многими другими биоклиматическими индексами, ему свойственен недостаток, заключающийся в необходимости определения его критериальных значений для климатических условий каждого региона (города, страны). Для этого вводится вспомогательный показатель PMV (Predicted Mean Vote), определяемый с помощью голосования. Предложенная классификация физиологического температурного стресса человека, разработанная для различных климатических условий, позволяет дать оценку индикатору PET и установить критерии комфортной (нейтральной) температуры. Так, для стран Западной и Центральной Европы она составляет 18-23°C [23], Тайваня – 26-30°C, Пекина – 22-28°C [24].

Универсальность биоклиматического индекса PET и достаточность набора параметров, учитываемых при его определении, позволяют обоснованно применять указанный индекс для исследования влияния на городской микроклимат морфологии застройки и озеленения.

Рассмотренные индексы теплового комфорта и разработанные на их основе расчетные модели широко используются для оценки параметров городской среды. Центральным понятием метеорологии города для оценки уровня температурного комфорта на открытых пространствах улиц между рядами зданий (при длине зданий в несколько раз превышающей их высоту) предлагается считать «городской каньон» [25], характеристиками которого являются его ширина ( $W$ ), высота ( $H$ ) и длина ( $L$ ), служащие основой для учета аэродинамических и тепловых эффектов, возникающих в плотной городской застройке. Оценка «городских каньонов» производят, как правило, по следующим основным показателям:

- отношению высоты зданий к ширине коридора между ними (коэффициент  $H/W$ ),
- открытости небосвода – «Sky View Factor» (SVF), упрощенная аппроксимация величины которой для равномерного шага направлений измерения возможна по следующей формуле [26]:

$$\Psi = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \cos v_i, \quad (6)$$

где  $n$  – число направлений, на которое разбит круг 360 градусов;

- ориентации улиц по сторонам света
- асимметрии очертаний фасадов в поперечном профиле;
- типам фасадов, в том числе с учетом наличия галерей;
- видам зеленых насаждений, схемам посадки и геометрическим размерам.

Для регионов с жарким сухим климатом первостепенное значение приобретает затенение улиц и обеспечение аэрационного режима, а для регионов с континентальным и мезотермальными типами климата – наряду с обеспечением температурного комфорта – и достаточный уровень инсоляции.

Так, для города *Кампинас* (Бразилия) по биоклиматическому индексу PET с помощью программного средства RayMan [18,27] были выполнены многовариантные численные исследования влияния коэффициента  $H/W$  и ориентации улиц по сторонам света (рис. 2) [28].



Рисунок 2 – Примеры улиц с различным коэффициентом  $H/W$  в Кампинас, Бразилия [28]

В качестве исходной информации для расчетов в модели RayMan предусмотрено использование географических и топографических данных рассматриваемой территории, сведения о погодных условиях, физиологические параметры городского жителя, ситуационная схема застройки и условия затенения (рис. 3).

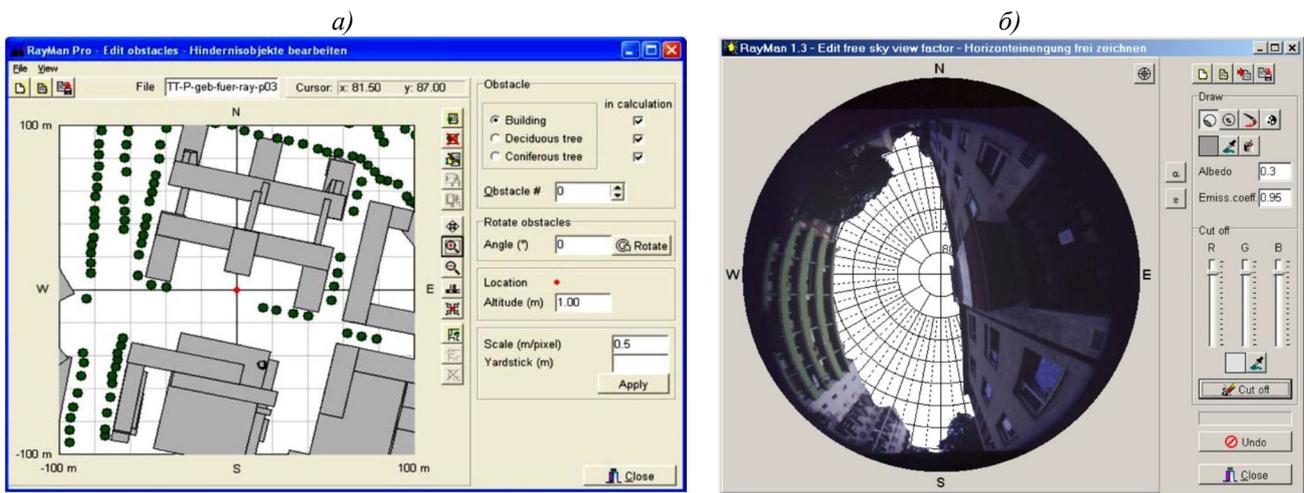


Рисунок 3 – Окна для ввода информации об условиях городской застройки: ситуационной схемы (а) и фото (или чертежа) путей проникновения солнечных лучей (б) [18]

По результатам численных исследований [28] для улиц г. Кампинас с соотношением  $H/W > 2,0$  не рекомендуется ориентация улиц на Север-Юг, ориентацию улиц с  $H/W = 1,0..2,0$  предлагается принимать в интервале  $45^\circ-135^\circ$ , а улиц с  $H/W = 0,5..1,0$  – между  $90^\circ$  и  $120^\circ$ , при  $H/W < 0,5$  следует предусматривать озеленение с целью затенения фасадов и пешеходных коммуникаций. Как отмечено в [29], затенение стен зданий в тропических регионах позволяет снизить температуру их поверхности на  $5-20^\circ\text{C}$ . Стоит отметить, что, например, для средне-статистического города центральной Европы в солнечный день температура ограждающей поверхности в среднем на  $10-12^\circ\text{C}$  превышает температуру воздуха [30].

Для симметричных «уличных каньонов» городов, расположенных в *субтропиках*, рекомендуется проектирование улиц с ориентацией на Север-Юг и высоким коэффициентом  $H/W$  [31]. Во многих других источниках, например, в работе [32], по результатам оценки регулярности и этажности городской застройки для муниципалитета *Петролина* (Бразилия) с тропическим полузасушливым климатом, также отмечается значительное влияние высоты зданий на снижение тепловой нагрузки. Однако, увеличение высоты зданий при неизменной ширине расстояния между ними отрицательно сказывается на аэрационном режиме, гигиенических и санитарных характеристиках состава воздуха.

Для климатических условий субтропической зоны в продолжение исследований [31] авторами по индексу PET и с помощью модели ENVI-Met был выполнен анализ влияния асимметрии поперечных профилей улиц, наличия галерей и древесных насаждений для различных значений  $H/W$  и ориентации по сторонам света [33] (рис. 4).

Используемая в исследованиях прогностическая модель ENVI-Met, основанная на фундаментальных законах гидро- и термодинамики, показала широкие возможности для численного моделирования городского микроклимата [30]. Модель включает в себя моделирование потока вокруг и между зданиями, обменные процессы на поверхности земли и в стенах зданий, характеристики ограждающих конструкций, влияние растительности и местного микроклимата, биоклиматологию и рассеивание загрязняющих веществ. В ENVI-Met городской микроклимат моделируется в виде интерактивной системы, состоящей из набора динамических подсистем.

Результаты проведенного анализа позволили авторам [33] отметить, что при наличии галерей  $PET_{\min}$  не ниже аналогичного значения на затененных участках открытых пространств, однако, максимальное значение индикатора на  $4\text{ K}$  выше, чем на улицах без галерей. Отмечено, что для улиц такого типа, ориентированных на С-Ю, СВ-ЮЗ и СЗ-ЮВ, характерны дискомфортные температурные условия в течение менее продолжительного времени. Влияние рядов зеленых насаждений для рассматриваемого примера не считается существенным, при этом эффект снижения температуры за счет образования затенения под плотными кронами де-

ревьев практически сопоставим с эффектом от обеспечения вентиляции на улицах без древесных посадок.

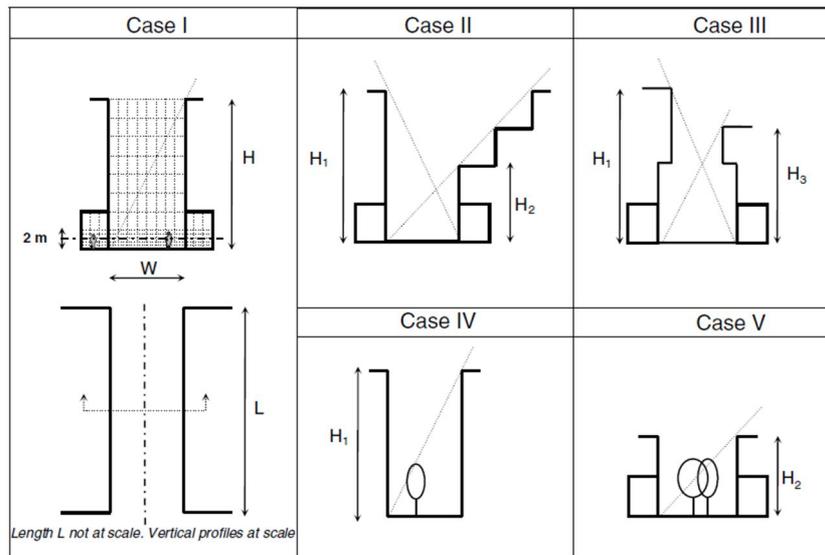


Рисунок 4 – Исходная информация для проведенных численных исследований [33]

Иная оценка роли зеленых насаждений в обеспечении температурного комфорта была дана в работе [34], в которой исследовалось влияние различных схем затенений, в том числе и различных типов озеленения на тепловой стресс человека в полузакрытых городских пространствах регионов с жарким сухим климатом (южная часть **Израиля**, Негев). Отмечено, что несмотря на локальное снижение температуры в тени деревьев, их роль высока в сокращении длинноволнового излучения со двора поверхности, а также в ограничении уровня отраженной солнечной радиации.

Анализ влияния на смягчение температуры в городских «каньонах» различных видов озеленения (уличного, фасадного, озеленения крыш и их комбинаций) за счет транспирационного охлаждения, выполненный для города **Арнем** (Нидерланды) с помощью методов вычислительной гидродинамики, позволил авторам также отметить локальное снижение температуры воздуха в тени деревьев (до  $1,6^{\circ}\text{C}$ ) и рекомендовать комбинированное озеленение фасадов и проспектов [35]. При этом влияние на обеспечение температурного комфорта на улицах от фасадного озеленения считается незначительным, а от озеленения крыш – отсутствует. Предлагается выполнять посадку деревьев с объемными плотными кронами на больших площадях для увеличения объема биомассы. Авторами особо подчеркивается необходимость регулярных поливов растительности в летний период, поскольку транспирационное охлаждение возможно только при достаточном потоке водяного пара от поверхности листьев.

С целью обеспечения максимально комфортных условий и необходимой инсоляции улицы города **Штутгарт** (Германия) в ходе исследования [36] сформулированы рекомендации для ориентирования их на С, СЗ – Ю, ЮВ, при этом значение  $H/W$  должно превышать 1,5.

В отличие от предыдущих исследований, которые в большей мере были ориентированы на времена года с максимально высокой температурой, для города **Пекина** (Китай) был выполнен анализ городского микроклимата по двум показателям дискомфорта: в жару и холод (HDR и CDR) [37]. Оценка проводилась по индексу PET, варьируемым параметром явилось значение открытости небосвода (рис. 5). Авторы отмечают, что максимально затененным участкам территории ( $SVF < 0,3$ ), как правило, соответствует смягчение летней жары на более продолжительный срок при высокой степени дискомфорта в зимний период. В этой связи для максимального учета особенностей влажного континентального климата, свойственного Пекину, предлагается при градостроительном проектировании предусмотреть баланс между температурным комфортом в летние и зимние месяцы.

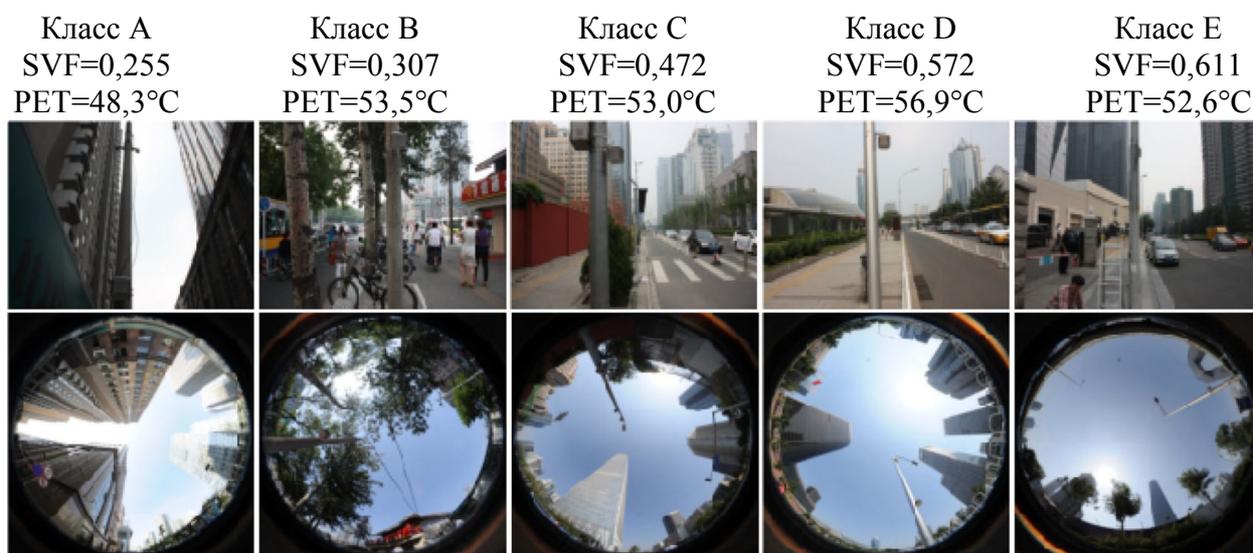


Рисунок 5 – Фото общего вида и «рыбий глаз» городских каньонов, соответствующие им значения SVF и PET [37]

Учет влияния пространственной организации застройки российских городов на температурный комфорт жителей в настоящее время находится в постановочной стадии, и как правило, исследования связаны с параметризацией моделей прогноза погоды и климатических моделей, например, выполненного в [26]. Требования к планировке городов и поселений, содержащиеся в региональных нормативах градостроительного проектирования в части регулирования микроклимата, даже для областей, расположенных в южной части России, относятся в большей степени к обеспечению инсоляции.

Тем не менее, температурно-влажностный и ветровой режимы, обеспечиваемые городской застройкой, являются составляющими не только экологического комфорта [38], но и безопасности пространственной среды, оказывают существенное влияние на энергоэффективность при эксплуатации объектов капитального строительства.

Результаты проанализированных исследований подчеркивают необходимость разработки научно-обоснованных рекомендаций по созданию экологического комфорта градостроительными методами при планировании новых, реконструкции и развитии существующих городских микрорайонов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. United Nations. Inform on the population, Department of Social and Economic Matters. Secretariat of the United Nations. 2002.
2. Нарбут, Н.А. К вопросу об экологическом планировании городской территории [Текст] / Н.А. Нарбут // Вестник РУДН, серия «Экология и безопасность жизнедеятельности», 2008. – №4. – С. 29-35.
3. Ketterer, C. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany / C. Ketterer and A. Matzarakis // Int. J. Biometeorology. 2014. DOI 10.1007/s00484-014-0940-3.
4. Sharmin, T. A Study of Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces in respect to Increasing Building Height in Dhaka / T. Sharmin, S. Kabir, M. Rahaman // The AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE), Vol. 11, №1, August 2012. P. 57-65.
5. <http://rp5.ru/> – [Электронный ресурс]. Дата обращения – 10.03.2015 г.
6. Yildiz, N.D. Thermal Band Analysis of Different Land Uses in Urban Spaces and its Effects / N.D. Yildiz et al // Proceedings of the Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, Venice, October 13-15, 2014. – P. 547-557.
7. Ketterer, C. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany / C. Ketterer and A. Matzarakis // Int. J. Biometeorology. 2014. DOI 10.1007/s00484-014-0940-3.
8. Katzschner, L. Urban climatopogy and application [Текст] / L. Katzschner // Вестник ВГУ. Серия: география, геоэкология. – 2008. – №2. – С. 95-100.
9. Kim, K.G. Climate, urbanization and green spaces in urban areas, the case of Seoul, MAB-Unesco, University of Seoul. 1989.

10. Kuttler, W. Planungsorientierte Stadt klimatologie, Geogr. Rdsch. 45, 1993, pp. 95-106.
11. Staiger, H. The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics / H. Staiger, G. Laschewski, and A. Graetz // *International Journal of Biometeorology*. №56: 165-176. 2012.
12. Айзенштадт, Б.А. Оценки радиационного влияния различных элементов городской среды на тепловое состояние человека для целей градостроительства // *Строительная климатология*. – М.: Стройиздат, 1987. – №6. – С. 66-71.
13. Watson, D. and Labs, K. *Climatic Design, Energy-Efficient Building Principles and Practice*. New-York: McGraw-Hill Book Company, 1983.
14. Jendritzky G., R. Dear and G. Havenith. UTCI–Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*. 2012. №56(3): 421-428.
15. *Designing Open Spaces in the Urban Environment: a Bioclimatic Approach*. Layout and Production Supervisor: M. Kikira. Center of Renewable Energy Sources. 2004. Greece. 52 p.
16. Nikolopoulou, M. and Lykoudis, S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building Environmental*, 2006. – №41. – 1455-1470.
17. Matzarakis A., H. Mayer and M. G. Iziomon. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 1999. – №43: 76-84.
18. Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 2007. – №51, 323-334.
19. Усмонов, Ш.З. Определение схемы зоны теплового комфорта в жилых помещениях в условиях сухого жаркого климата Центральной Азии [Текст] / Ш.З. Усмонов // *Вестник МГСУ*. – 2013. – №7. – С. 152-156.
20. Georgi, N. Monitoring Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces for Bioclimatic Conditions Improvement [Text] / Georgi N., Tzesouri A. // 1st WSEAS International Conference on Landscape Architecture (LA '08), Algarve, Portugal, June 11-13, 2008. P. 98-103.
21. Gómez F. et al. Green Areas, The Most Significant Indicator of the Sustainability of Cities: Research of Their Utility for Urban Planning. *Journal of Urban Planning and Development*. 2011. September. 311-328.
22. Руководство по оценке и регулированию ветрового режима жилой застройки [Текст] / Разраб. ЦНИИП градостроительства Госгражданстроя, М.: Стройиздат, 1986.
23. Matzarakis A, and H. Mayer. 1996. «Another kind of environmental stress: thermal stress». In *Newletters WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control* 18: 7-10.
24. Lin TP, Matzarakis A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol*. 2008. №52:281-290.
25. Nunez M and Oke T.R. The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 1977. 16, 11-19.
26. Самсонов, Т.Е. Вычисление геометрических характеристик подстилающей поверхности и городского каньона для мультимасштабной параметризации метеорологических моделей мегаполисов [Текст] / Т.Е. Самсонов, В.Н. Семин, П.И. Константинов, М.И. Варенцов // *ArXiv e-prints*. – 2013. – №1305.6067. – С. 1-17.
27. Matzarakis A., F. Rutz and H. Mayer. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 2010. – 54(2):131-139.
28. Abreu-Harbach, L.V., Labaki, L.C., Matzarakis, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theor. Appl. Climatol*. 2013. DOI 10.1007/s00704-013-0886-0.
29. Obi, Arc. N.I. The influence of vegetation on microclimate in hot humid tropical environment a case of Enugu urban. *International Journal of Energy and Environmental Research*. June 2014. Vol. 2. – №2, pp. 28-38.
30. Huttner, S. and Bruse, M. Numerical modeling of the urban climate – a preview on ENVI-MET 4.0. The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan.
31. Ali-Toudert, F., Mayer, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and solar orientation on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*. 2006. 41, 94-108.
32. Martins, T., Adolphe, L., Krause, C. Microclimate Effects of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in the Brazilian Tropical Semi-arid Climate. PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 November 2012.
33. Ali-Toudert, Fazia and Mayer Helmut. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 2007. 81. 742-754.
34. Shashua-Bar, L. Pearlmutter, D. and Erell, E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*. 2011. 31: 1498-1506.
35. Gromke, C. et al. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment* 83. 2015. P. 11-26.
36. Ketterer C. and A. Matzarakis. Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning* 2014. 122:78-88.
37. He, X., Miao, S., Shen, F.L. et al. Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol*. 2015. 59: 285-297.
38. Кузьмин, А.В. Качество жизни и качество пространственной среды – социальные стандарты и нормы в градостроительстве, архитектуре, строительстве [Текст] / А.В. Кузьмин, Г.С. Юсин // *Градостроительство*. 2011. – №4. – С. 16-19.

Скобелева Елена Анатольевна

Государственный университет – учебно-научно-производственный комплекс, г. Орел

Кандидат технических наук, директор Архитектурно-строительного института

Тел.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: skobelevaea77@rambler.ru

E. SKOBELEVA

## ANALYSIS OF THE PROPOSALS TO THE ASSESSMENT OF CLIMATE ECOLOGICAL SAFETY AND COMFORTABLE URBAN ENVIRONMENT

*This paper analyzes the bioclimatic indexes, which are often used to assess the human thermal comfort in open spaces. An analysis of research on the influence of the spatial organization of urban development on the thermal comfort for the different types of climate. The results of numerical studies on the definition of one of the most revealing of bioclimatic indices - physiologically equivalent temperature (PET). Analysis carried out for the "urban canyons" with different parameters: ratio between the height of buildings to the width of the corridor between them (H/W), "Sky View Factor" (SVF), the orientation of the streets to the cardinal, the asymmetry of the profiles of streets, types of facades, types of planting scheme and greenery. The necessity of the development of evidence-based recommendations for the establishment of environmental comfort, urban planning methods in planning the development of new and existing urban districts.*

**Keywords:** environmental comfort, temperature control, open space, energy balance, bioclimatic indices.

### BIBLIOGRAPHY

1. United Nations. Inform on the population, Department of Social and Economic Matters. Secretariat of the United Nations. 2002.
2. Narbut, N.A. K voprosu ob jekologicheskom planirovanii gorodskoj territorii [Tekst] / N.A. Narbut // Vestnik RUDN, serija «Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti», 2008. – №4. – S. 29-35.
3. Ketterer, C. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany / C. Ketterer and A. Matzarakis // Int. J. Biometeorology. 2014. DOI 10.1007/s00484-014-0940-3.
4. Sharmin, T. A Study of Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces in respect to Increasing Building Height in Dhaka / T. Sharmin, S. Kabir, M. Rahaman // The AIUB Journal of Science and Engineering (AJSE), Vol. 11. – №1, August 2012. P. 57-65.
5. <http://rp5.ru/> – [Jelektronnyj resurs]. Data obrashhenija – 10.03.2015 g.
6. Yildiz, N.D. Thermal Band Analysis of Different Land Uses in Urban Spaces and its Effects / N.D. Yildiz et al // Proceedings of the Third International Conference on Countermeasures to Urban Heat Island, Venice, October 13-15, 2014. – P. 547-557.
7. Ketterer, C. Comparison of different methods for the assessment of the urban heat island in Stuttgart, Germany / C. Ketterer and A. Matzarakis // Int. J. Biometeorology. 2014. DOI 10.1007/s00484-014-0940-3.
8. Katzschner, L. Urban climatopogy and application [Tekst] / L. Katzschner // Vestnik VGU. Serija: geografija, geojekologija. – 2008. – №2. – S. 95-100.
9. Kim, K.G. Climate, urbanization and green spaces in urban areas, the case of Seoul, MAB-Unesco, University of Seoul. 1989.
10. Kuttler, W. Planungsorientierte Stadt klimatologie, Geogr. Rdsch. 45, 1993, pp. 95-106.
11. Staiger, H. The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics / H. Staiger, G. Laschewski, and A. Graetz // International Journal of Biometeorology. №56: 165-176. 2012.
12. Ajzenshtadt, B.A. Ocenki radiacionnogo vlijanija razlichnyh jelementov gorodskoj sredy na teplovoe sostojanie cheloveka dlja celej gradostroitel'stva // Stroitel'naja klimatologija. – M.: Strojizdat, 1987. – №6. – S. 66-71.
13. Watson, D. and Labs, K. Climatic Design, Energy-Efficient Building Principles and Practice. New-York: McGraw-Hill Book Company, 1983.
14. Jendritzky G., R. Dear and G. Havenith. UTCI–Why another thermal index? International Journal of Biometeorology. 2012. №56(3): 421-428.
15. Designing Open Spaces in the Urban Enironment: a Bioclimatic Approach. Layout and Production Supervisor: M. Kikira. Center of Renewable Energy Sources. 2004. Greece. 52 p.

16. Nikolopoulou, M. and Lykoudis, S. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building Environmental*, 2006. – №41. – 1455-1470.
17. Matzarakis A., H. Mayer and M. G. Iziomon. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology*, 1999. – №43: 76-84.
18. Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H. Modelling Radiation fluxes in simple and complex environments – Application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 2007. – №51, 323-334.
19. Usmonov, Sh.Z. Opredelenie shemy zony teplovogo komforta v zhilyh pomeshheniyah v usloviyah suhogo zharkogo klimata Central'noj Azii [Tekst] / Sh.Z. Usmonov // Vestnik MGSU. – 2013. – №7. – S. 152-156.
20. Georgi, N. Monitoring Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces for Bioclimatic Conditions Improvement [Text] / Georgi N., Tzesouri A. // 1st WSEAS International Conference on Landscape Architecture (LA '08), Algarve, Portugal, June 11-13, 2008. P. 98-103.
21. Gómez F. et al. Green Areas, The Most Significant Indicator of the Sustainability of Cities: Research of Their Utility for Urban Planning. *Journal of Urban Planning and Development*. 2011. September. 311-328.
22. Rukovodstvo po ocenke i regulirovaniju vetrovogo rezhima zhiloy zastrojki [Tekst] / Razrab. CNIP gradostroitel'stva Gosgrazhdanstroja, M.: Strojizdat, 1986.
23. Matzarakis A, and H. Mayer. 1996. «Another kind of environmental stress: thermal stress». In *Newletters WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control* 18: 7-10.
24. Lin TP, Matzarakis A. Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwan. *Int J Biometeorol*. 2008. №52:281-290.
25. Nunez M and Oke T.R. The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 1977. 16, 11-19.
26. Samsonov, T.E. Vychislenie geometricheskikh harakteristik podstilajushhej poverhnosti i gorodskogo kan'ona dlja mul'timasshtabnoj parametrizacii meteorologicheskikh modelej megapolisov [Tekst] / T.E. Samsonov, V.N. Semin, P.I. Konstantinov, M.I. Varencov // ArXiv e-prints. – 2013. – №1305.6067. – S. 1-17.
27. Matzarakis A., F. Rutz and H. Mayer. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*. 2010. – 54(2):131-139.
28. Abreu-Harbach, L.V., Labaki, L.C., Matzarakis, A. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theor. Appl. Climatol*. 2013. DOI 10.1007/s00704-013-0886-0.
29. Obi, Arc. N.I. The influence of vegetation on microclimate in hot humid tropical environment a case of Enugu urban. *International Journal of Energy and Environmental Research*. June 2014. Vol. 2. – №2, pp. 28-38.
30. Huttner, S. and Bruse, M. Numerical modeling of the urban climate – a preview on ENVI-MET 4.0. The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan.
31. Ali-Toudert, F., Mayer, H. Numerical study on the effects of aspect ratio and solar orientation on outdoor thermal comfort in hot and dry climate. *Building and Environment*. 2006. 41, 94-108.
32. Martins, T., Adolphe, L., Krause, C. Microclimate Effects of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in the Brazilian Tropical Semi-arid Climate. PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture Lima, Perú 7-9 November 2012.
33. Ali-Toudert, Fazia and Mayer Helmut. Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 2007. 81. 742-754.
34. Shashua-Bar, L. Pearlmutter, D. and Erell, E. The influence of trees and grass on outdoor thermal comfort in a hot-arid environment. *International Journal of Climatology*. 2011. 31: 1498-1506.
35. Gromke, C. et al. CFD analysis of transpirational cooling by vegetation: Case study for specific meteorological conditions during a heat wave in Arnhem, Netherlands. *Building and Environment* 83. 2015. P. 11-26.
36. Ketterer C. and A. Matzarakis. Human-biometeorological assessment of heat stress reduction by replanning measures in Stuttgart, Germany. *Landscape and Urban Planning* 2014. 122:78-88.
37. He, X., Miao, S., Shen, F.L. et al. Influence of sky view factor on outdoor thermal environment and physiological equivalent temperature. *Int. J. Biometeorol*. 2015. 59: 285-297.
38. Kuz'min, A.V. Kachestvo zhizni i kachestvo prostranstvennoj sredy – social'nye standarty i normativy v gradostroitel'stve, arhitekture, stroitel'stve [Tekst] / A.V. Kuz'min, G.S. Jusin // Gradostroitel'stvo. 2011. – №4. – S. 16-19.

**E. Skobeleva**

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical sciences, director of the Architectural-construction institute

Ph.: +7 (4862) 73-43-95

E-mail: skobelevaea77@rambler.ru

ЦУКЕРНИКОВ И.Е., ТИХОМИРОВ Л.А., ЩУРОВА Н.Е., НЕВЕНЧАННАЯ Т.А.

## РАСЧЕТ ОЖИДАЕМЫХ УРОВНЕЙ ШУМА И ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ШУМОЗАЩИТНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ЖИЛОГО ДОМА, РАСПОЛОЖЕННОГО ВБЛИЗИ ТРАССЫ М-1 «БЕЛАРУСЬ»

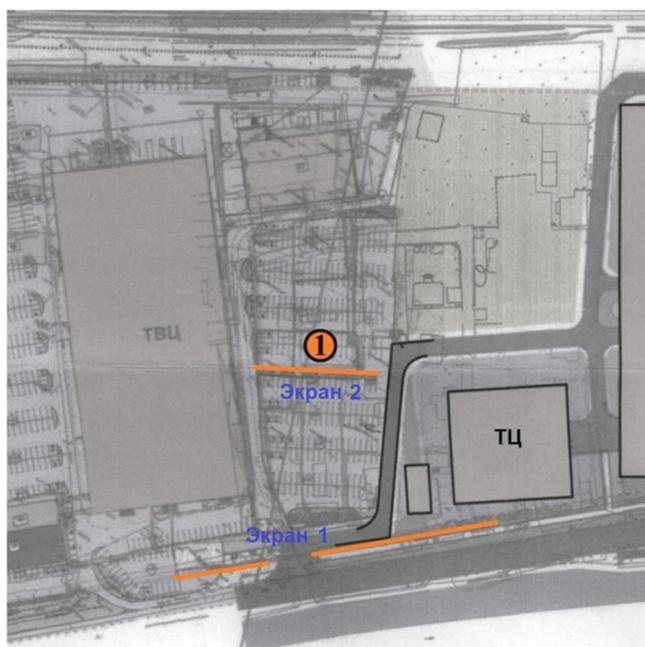
*В крупных городах архитектурно-планировочные решения могут меняться быстро и кардинально. Проекты по защите жилой застройки от повышенного транспортного шума могут терять свою актуальность и требовать пересмотра. Влияние повышенного шума может самым серьезным образом сказываться на здоровье человека. Основным источником такого воздействия во многих случаях является автотранспортный шум. В рассматриваемой работе выполнена оценка акустической обстановки на территории частного жилого дома, некогда части большого жилого массива. Подобраны размеры и расположение акустического экрана с целью обеспечения норм шума.*

**Ключевые слова:** защита от шума, расчет, программное обеспечение.

В работе рассматривается двухэтажный частный жилой дом, который ранее входил в крупный жилой массив, расположенный вдоль федеральной трассы М-1 «Беларусь». В настоящее время большая часть жилого массива прекратила свое существование и на его месте возведено несколько торгово-деловых центров. Ранее для селитебной территории был разработан проект защиты от шума, предусматривающий установку шумозащитного экрана высотой 6 м вдоль края дороги. Данный вариант защиты от шума потерял свою актуальность.

Рассматриваемый жилой дом расположен в 100 м от трассы с высокой интенсивностью движения, и на его территории возможны существенные превышения допустимых уровней. В связи с этим были выполнены расчеты ожидаемых уровней шума на территории, непосредственно прилегающей к жилому дому, в двух точках, расположенных в 2 м от наружных ограждающих конструкций дома со стороны трассы на высоте 1,5 м (уровень окна первого этажа) и на высоте 4,5 м (уровень окна второго этажа).

Схема рассматриваемой территории представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Схема рассматриваемой территории.  
Жилой дом обозначен цифрой 1**

Шумовые характеристики участка трассы были приняты в соответствии с данными раздела «Мероприятия по охране окружающей среды» уточненной проектной документации рассматриваемого участка территории. Эквивалентный уровень звука в 7,5 м от середины крайней полосы участка дороги на высоте 1 м от уровня земли составляет 82 дБА для дневного времени суток и 72 дБА для ночного времени. Расчеты были выполнены с использованием программного комплекса АРМ «Акустика» (версия 3.2.1), разработанного российской компанией ООО «ТЕХНОПРОЕКТ» (<http://www.noiseview.ru/>) и реализующего в качестве расчетной методики положения ГОСТ 31295.2-2005 «Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета». Данная программа позволяет проводить расчеты автодорожного шума с достаточной для практических целей точностью [1].

Результаты расчета и соответствующие превышения допустимых уровней шума, установленных федеральными санитарными нормами СН 2.2.4/2.1.8.562-96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», приведены в таблице 1. Расчетные карты распределения эквивалентных уровней звука  $A$  на рассматриваемой территории представлены на рисунке 2.

Таблица 1 – Результаты расчета в точках у ограждающих конструкций дома

Высота, этаж	$L_{Aeq}$ , дБА	$L_{Aeq, доп}$ , дБА	$\Delta L_{Aeq}$ , дБА	$L_{Amax}$ , дБА	$L_{Amax, доп}$ , дБА	$\Delta L_{Aeq}$ , дБА
Дневное время						
1,5 м, 1-ый	64,9	55	9,9	64,9	70	-
4,5 м, 2-ой	65,7		10,7	65,7		-
Ночное время						
1,5 м, 1-ый	54,9	45	9,9	65,0	60	5,0
4,5 м, 2-ой	55,7		10,7	65,9		5,9

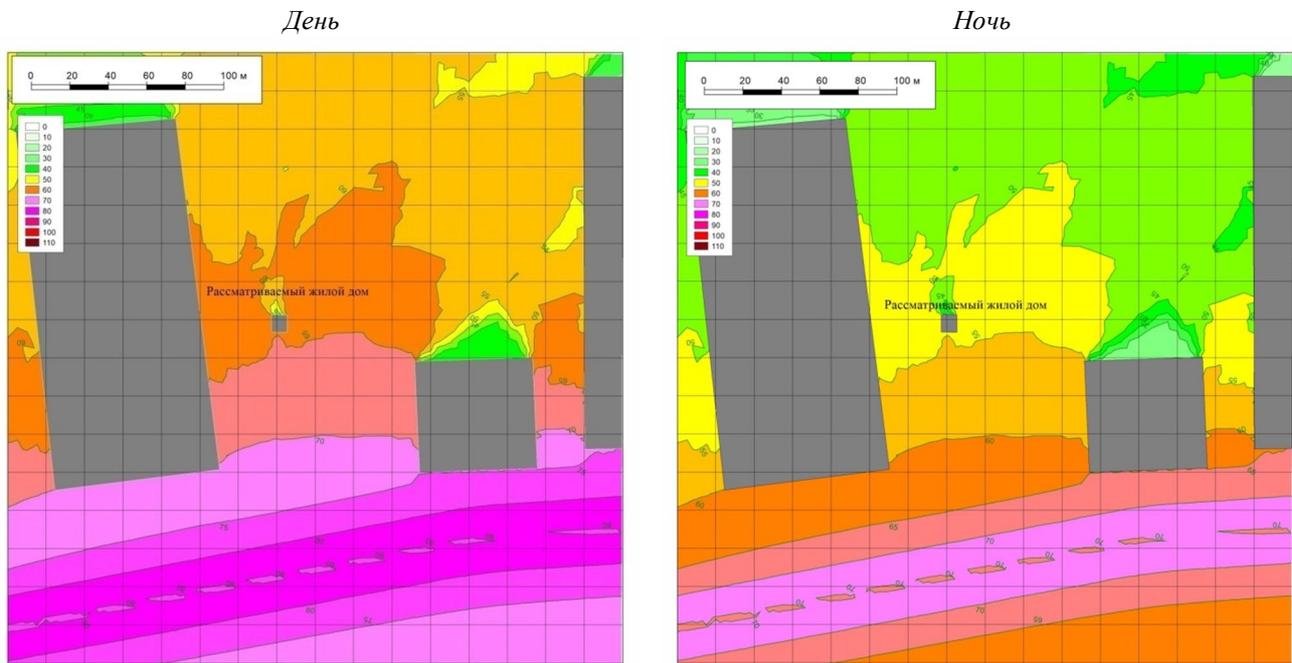


Рисунок 2 – Карты распределения эквивалентных уровней звука  $A$  рассматриваемой территории на высоте второго этажа (4,5 м)

Получено существенное превышение эквивалентных уровней звука  $A$ , как днем так и ночью: 9,9 дБА для первого этажа и 10,7 дБА для второго этажа. Для максимальных уровней звука  $A$  превышение имеет место только для ночного времени и составляет соответственно 5 дБА и 5,9 дБА.

Проектом охраны окружающей среды для располагавшейся на рассматриваемой территории жилой застройки предусмотрена установка шумозащитного экрана высотой 6 м на отрезке трассы между пикетами ПК 4 – 4+80 (экран 1 на рис. 1). Расчет с учетом наличия экрана показал, что он не обеспечивает необходимого снижения эквивалентных уровней звука  $A$ , и в расчетных точках по-прежнему имеются существенные превышения на уровне второго этажа: 5,4 дБА днем и 5,2 дБА ночью. Для максимальных уровней звука  $A$  превышение в ночное время суток составило 3,4 дБА для первого этажа и 4,3 дБА для второго этажа.

В данной ситуации можно приблизить экран к защищаемой территории так, чтобы она оказалась в зоне «глубокой» тени экрана, что позволит увеличить угол дифракции на горизонтальном ребре экрана и повысить его эффективность [2]. Для этого экран следует расположить вдоль южного края рассматриваемой жилой территории по границе с прилегающей автостоянкой на расстоянии 95 м от дороги (экран 2 на рис. 1). В этом случае протяженность экрана можно уменьшить до 45 м. При этом будет обеспечено выполнение необходимого условия для длины шумозащитного экрана [3, 4]: минимальная длина участков экрана за пределами защищаемого объекта должна составлять в каждую сторону не менее 4-х расстояний от расчетной точки до экрана или угол видимости экрана из расчетной точки должен быть более  $160^\circ$ .

Результаты расчета для такого расположения экрана приведены в таблице 2. Карты распределения эквивалентных уровней звука  $A$  представлены на рисунке 3. В данном случае удастся достичь требуемого снижения уровней шума на прилегающей к жилому дому территории для дневного и ночного времени суток.

Таблица 2 – Результаты расчета в точках у ограждающих конструкций

Высота, этаж	$L_{Aeq}$ , дБА	$L_{Aeq, доп}$ , дБА	$\Delta L_{eq}$ , дБА	$L_{Amax}$ , дБА	$L_{Amax, доп}$ , дБА	$\Delta L_{eq}$ , дБА
Дневное время						
1,5 м, 1-ый	44,9	55	-	44,5	70	-
4,5 м, 2-ой	52,7		-	52,7		-
Ночное время						
1,5 м, 1-ый	37,5	45	-	44,9	60	-
4,5 м, 2-ой	42,7		-	50,2		-

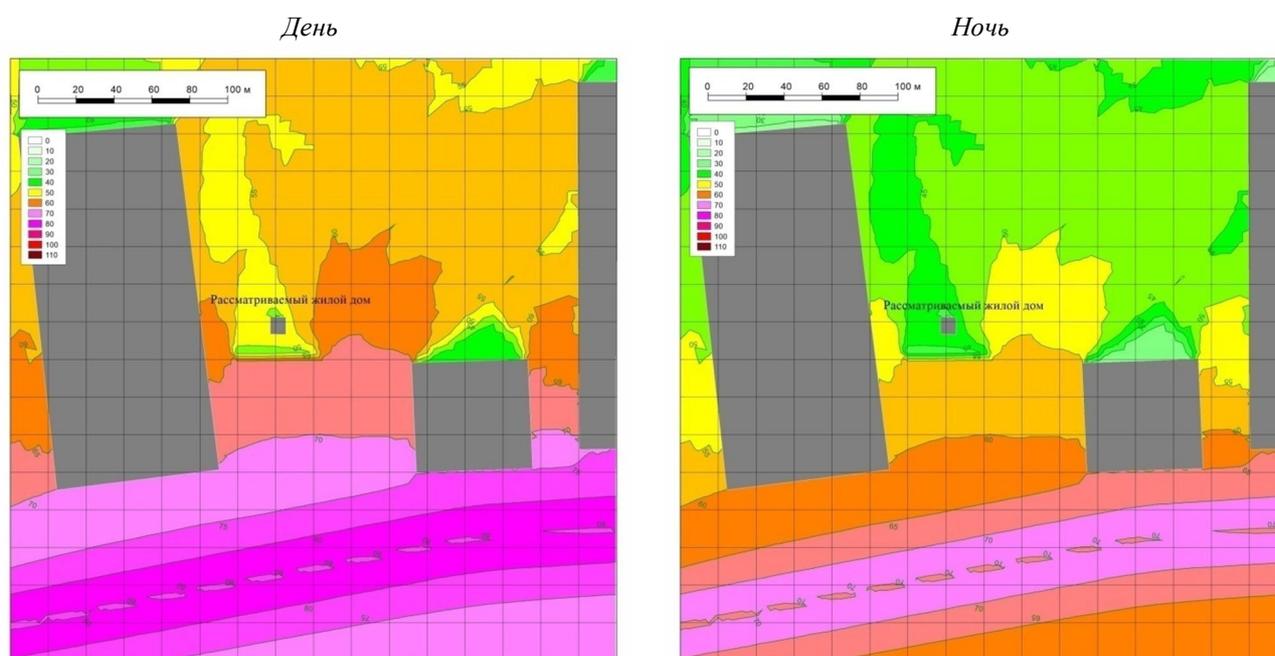


Рисунок 3 – Карты распределения эквивалентных уровней звука  $A$  рассматриваемого района на высоте второго этажа (4,5 м) с шумозащитным экраном по южной границе жилой территории

**СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Цукерников, И.Е. Сравнение результатов расчета автодорожного шума жилого района г. Москвы, полученных при использовании трех программных средств [Текст] / И.Е. Цукерников, Л.А. Тихомиров // Сб. докладов IV Всерос. научно-практической конференции с международным участием. – СПб, БГТУ, 2013. – С. 409-419.
2. Шубин, И.Л. Основы проектирования транспортных шумозащитных экранов [Текст]: учеб. пособие / И.Л. Шубин, И.Е. Цукерников, Н. Николов, А. Писарски. – М.: ИД «БАСТЕТ», 2015. – 208 с.
3. ОДМ 218.2.013-2011. Методические рекомендации по защите от транспортного шума территорий, прилегающих к автомобильным дорогам [Текст]. – М.: Технорматив, 2013. – 116 с.
4. Benz Kotzen, Colin English. Environmental noise barriers. A guide to their acoustic and visual design. 2nd edition. – Taylor & Francis, London, New York, 2009. – 257 p.

**Цукерников Илья Евсеевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией

Тел.: +7 916 466 4172, +7 495 482 4076

E-mail: 3342488@mail.ru

**Тихомиров Леонид Александрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Инженер

Тел.: +7 903 252 1243, +7 (495) 482 4076

E-mail: niisf@mail.ru

**Щурова Наталья Евгеньевна**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Инженер

Тел.: +7495 482 3712, +7 (495) 482 4076

E-mail: tel4823712@yandex.ru

**Невенчанная Татьяна Олеговна**

Московский государственный университет печати им. Ивана Федорова, г. Москва

Ассистент

Тел.: +7 (499) 976 3153

E-mail: nevento@mail.ru

---

I. TSUKERNUIKOV, L. TIKHOMIROV, N. SHCHUROVA, T. NEVENCHANNAYA

**CALCULATION OF EXPECTED NOISE LEVELS AND EFFICIENCY ASSESMENT OF NOISE PROTECTION MEASURES FOR RESIDENTIAL HOUSES LOCATED NEAR THE ROAD M-1 «BELARUS»**

*In the major cities architectural and planning decisions can change quickly and dramatically. Projects to protect residential area from increased traffic noise can lose its relevance and demand revision. The impact of increased noise can seriously affect human health. The main source of exposure in many cases is road noise. In this work evaluated acoustic environment on the territory of a private house, once part of a large residential area. Selected the size and location of the acoustic screen to fulfil the noise regulations.*

**Keywords:** noise protection, calculation, software.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Cukernikov, I.E. Sravnenie rezul'tatov rascheta avtodorozhnogo shuma zhilogo rajona g. Moskvy, poluchennyh pri ispol'zovanii treh programmyh sredstv [Tekst] / I.E. Cukernikov, L.A. Tihomirov // Sb. dokladov IV Vse-ros. nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – SPb, BGTU, 2013. – S. 409-419.

2. Shubin, I.L. Osnovy proektirovaniya transportnyh shumozashhitnyh jekranov [Tekst]: ucheb. posobie / I.L. Shubin, I.E. Cukernikov, N. Nikolov, A. Pisarski. – M.: ID «BASTET», 2015. – 208 s.
3. ODM 218.2.013-2011. Metodicheskie rekomendacii po zashhite ot transportnogo shuma territorij, prilegajushhih k avtomobil'nyh dorogam [Tekst]. – M.: Tehnormativ, 2013. – 116 s.
4. Benz Kotzen, Colin English. Environmental noise barriers. A guide to their acoustic and visual design. 2nd edition. – Taylor & Francis, London, New York, 2009. – 257 p.

**I. Tsukernuikov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, head of laboratory  
Ph.: +7 916 466 4172, +7 495 482 4076  
E-mail: 3342488@mail.ru

**L. Tikhomirov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Engineer  
Ph.: +7 903 252 1243, +7 (495) 482 4076  
E-mail: niisf@mail.ru

**N. Shchurova**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Engineer  
Ph.: +7495 482 3712, +7 (495) 482 4076  
E-mail: tel4823712@yandex.ru

**T. Nevenchannaya**

Moscow state university of printing arts Ivan Fedorov, Moscow  
Assistant  
Ph.: +7 (499) 976 3153  
E-mail: nevento@mail.ru

ШМАРОВ И.А., КОЗЛОВ В.А.

## К ВОПРОСУ О ВЛИЯНИИ РЕКЛАМНЫХ ЩИТОВ С ЦИФРОВОЙ СМЕНОЙ ИЗОБРАЖЕНИЯ НА ПРИЛЕГАЮЩУЮ ЖИЛУЮ ЗАСТРОЙКУ

*В статье рассматривается влияние рекламных щитов с цифровой сменой изображения на жилую застройку. Рассмотрены основные параметры рекламных видеозэкранов, оказывающие влияние на прилегающую застройку. Приведены формулы для расчета углового размера рекламной установки и предложена методика его расчета.*

**Ключевые слова:** освещенность, яркость, угловой размер рекламной установки.

Рекламные щиты с цифровой сменой изображения, представляющие собой отдельно стоящие рекламные конструкции, имеют, как правило, размер информационного поля 3,00 (высота)×6,00 (длина) метров. При этом размер светодиодного видеозэкрana составляет 2,88×5,76 метров, а площадь изображения – 16,59 м<sup>2</sup> (рис. 1). Такие конструкции в настоящее время получили достаточно широкое распространение в г. Москве и устанавливаются в соответствии с территориальными требованиями к размещению такого типа конструкций [1]. Они должны быть спроектированы, изготовлены и установлены в соответствии с существующими строительными нормами, ГОСТами, ПУЭ, техническими регламентами и другими нормативными актами, содержащими требования для конструкций данного типа и при этом соответствовать требованиям санитарных норм и правил. Основными параметрами, регламентирующими влияние рекламных щитов с цифровой сменой изображения на прилегающую застройку, являются яркость видеозэкрana и угловой размер видеозэкрana или его частей, видимых из точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра окон наиболее близко расположенных зданий. Кроме этого, в соответствии с требованиями пункта 3.3.4. СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2], уровни суммарной засветки окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения не должны превышать (в зависимости от средней яркости проезжей части) значений: 7 лк (при норме средней яркости проезжей части 0,4 кд/м<sup>2</sup>); 10 лк (при норме средней яркости проезжей части 0,6-1,0 кд/м<sup>2</sup>) и 20 лк (при норме средней яркости проезжей части 1,2-1,6 кд/м<sup>2</sup>). Согласно п. 3.3.5 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2] уровни суммарной засветки окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения от архитектурного, рекламного освещения, а также установок освещения строительных площадок, не должны превышать более чем на 10% величин, указанных в п. 3.3.4 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2]. Измерение уровня засветки окон должно производиться по ГОСТ Р 54944-2012 [4], в соответствии с которым контрольные точки размещаются на внешней поверхности окна. Проведенные специалистами НИИ строительной физики измерения уровней динамической засветки (вертикальной освещенности) окон, показывают, что в большинстве случаев она определяется уличным искусственным освещением, а в отдельных случаях – архитектурным освещением фасадов, но не превышает нормируемых величин суммарной засветки окон, установленных СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2] для соответствующей яркости проезжей части.

В соответствии с требованиями пункта 3.3.7. СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2, 3] в дневное время суток, яркость рекламных видеозэкранов не ограничивается.

В темное время суток рекламные видеозэкраны эксплуатируются на пониженной яркости, при работе рекламной установки от 0,5% до 3% от максимальной мощности. Измерение яркости рекламного видеозэкрana должно производиться по ГОСТ 26824-2010 [5].

В соответствии с пунктом 3.3.6 СанПиН 2.2.1./2.2.1.1278-03 [2], размещение динамических видеорекламных световых установок (к которым относятся рекламные щиты с цифровой

сменой изображения) допускается при отсутствии их воздействия в точке, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема.



Рисунок 1 – Общий вид рекламного щита с цифровой сменой изображения, установленного по адресу: г.Москва, САО, Дмитровское шоссе, д. 29

При расположении отдельно стоящих рекламных щитов с цифровой сменой изображения, как правило, учитывается их отдаленность от жилых зданий и зданий лечебных и лечебно-профилактических учреждений. При расположении в непосредственной близости от жилого дома, рекламный видеозэкран стремятся установить таким образом, чтобы он, по возможности, не попадал в поле зрения наблюдателя, т.е. рекламный щит с видеозэкраном устанавливаются под углом к жилому дому (во многих случаях под углом 90 градусов). В этом случае из расчетной точки ближайшего светопроема экран будет виден не целиком, а частично. При этом, в поле зрения наблюдателя, находящегося в расчетной точке, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема, длина экрана будет восприниматься не полностью, а частично – как проекция на плоскость, перпендикулярной линии зрения наблюдателя, как видно из рисунка 2. По мере удаления от видеозэкрana проекция длины экрана на эту плоскость будет увеличиваться в связи с возрастанием угла « $\alpha$ ». Проекция длины видеозэкрana ( $L_{пр. экр.}$ ) на плоскость перпендикулярную линии зрения будет определяться по формуле:

$$L_{пр. экр.} = L_{экр.} \sin \alpha , \quad (1)$$

где  $L$  – длина экрана, м;  $\alpha$  – угол (в градусах) между вертикальной плоскостью экрана и плоскостью, проходящей через расчетную точку и перпендикулярной линии зрения наблюдателя (рис. 2).

Основными параметрами, определяющими поле зрения (угол обзора) наблюдателя, находящегося в метре от геометрического центра светопроема, являются ширина оконного проема и толщина наружной стены. Тогда угол обзора наблюдателя « $\gamma$ », находящегося в метре от геометрического центра светопроема будет определяться по формуле:

$$\gamma = 2 \arctg \frac{b}{2(1 + \delta_{ст.})} , \quad (2)$$

где  $b$  – ширина светопроема, м;  $\delta_{ст.}$  – толщина наружной стены, м.

Угловой размер ( $\beta$ , в угловых градусах) рекламного видеозэкрana, видимого из точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема определяется по следующей формуле:

$$\beta = \arctg \frac{D_{экв.}}{P} , \quad (3)$$

где  $D_{экв.}$  – эквивалентный (по площади видимой части рекламного видеозэкрana –  $F_{вид.экр.}$ , м<sup>2</sup>) диаметр равнояркого круга, м;  $P$  – расстояние от расчетной точки до геометрического центра экрана, м.

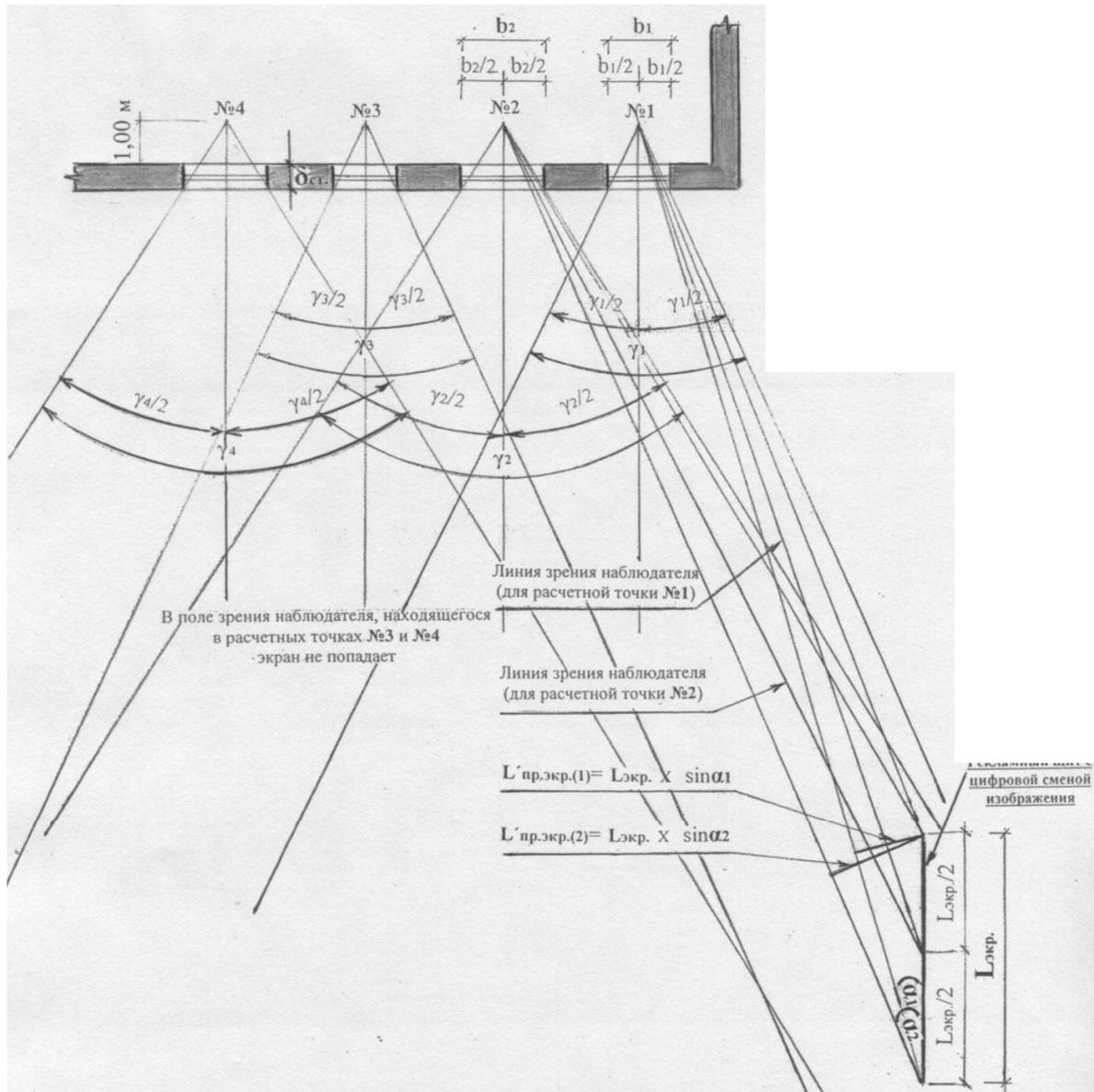


Рисунок 2 – Расчетная схема для определения угловых размеров рекламного щита с цифровой сменой изображения

При этом, площадь видимой части рекламного видеозащита –  $F_{вид.экр.}$ , будет определяться по формуле:

$$F_{вид.экр.} = L_{пр.экр.} \times H_{экр.}, \tag{4}$$

где  $L_{пр.экр.}$  – проекция длины видеозащита на плоскость перпендикулярную линии зрения наблюдателя, м, определяемая по формуле (1);  $H_{экр.}$  – высота видеозащита, м.

Эквивалентный (по площади видимой части рекламного видеозащита –  $F_{вид.экр.}$ , м<sup>2</sup>) диаметр равнояркого круга  $D_{экв.}$ , м, определяется по формуле (5):

$$D_{экв.} = 2\sqrt{\frac{F_{вид.экр.}}{\pi}}, \tag{5}$$

В соответствии с действующими нормами [2, 3] угловой размер рекламного видеозащита ( $\beta$ , в угловых градусах – по формуле (3)), видимого из точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра окон жилых зданий, палат лечебных учреждений, палат и спальных комнат объектов социального обеспечения, не должен превышать двух угловых градусов.

Рекламный щит с цифровой сменой изображения имеет как ручную, так и автоматическую многоуровневую регулировку яркости, что позволяет избежать негативного влияния, как

правило, в темное время суток на прилегающую жилую застройку. Проведенные специалистами НИИ строительной физики измерения яркости рекламных светодиодных видеозэкранов рекламных щитов, работающих в динамическом режиме показали, что практически во всех случаях их средняя яркость не превышает нормируемых величин наибольшей допустимой средней яркости, установленных СНиП 23-05-95\* «Естественное и искусственное освещение» [6] для соответствующей категории улиц.

Совсем по-другому обстоит дело с таким важным показателем рекламного щита с цифровой сменой изображения – как угловой размер видеозэкрана, видимого из точки, расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроемов жилых зданий. Этот параметр не исследуется ни до установки рекламного щита и, как правило, не корректируется в процессе его эксплуатации, хотя строго нормируется по действующим нормам [2, 3] и не должен превышать двух угловых градусов. Причиной этого фактора служит то обстоятельство, что до настоящего времени не разработана методика расчета этого показателя. На основании приведенных выше формул (1)-(5) предлагается следующая последовательность расчета углового размера ( $\beta$ , в угловых градусах) рекламного видеозэкрана:

1. Для каждого из светопроемов жилых комнат наиболее близко расположенных жилых зданий, а также палат лечебных и лечебно-профилактических зданий (если таковые имеются) по формуле (2) определяется угол обзора ( $\gamma^\circ$ ) (для расчетных точек расположенных на расстоянии 1-го метра от геометрического центра окон), в поле зрения которого попадает рекламный видеозэкран или его часть.

2. Для каждого из светопроемов из которых оказался видимым (из расчетной точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема) рекламный видеозэкран или его часть, по формуле (1) определяется горизонтальная проекция ( $L'_{\text{пр.экр.}}$ ) длины видеозэкрана ( $L_{\text{экр.}}$ ) на плоскость, перпендикулярную линии зрения (см. рис. 2).

3. Для каждого из светопроемов из которых оказался видимым (из расчетной точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема) рекламный видеозэкран или его часть по формуле (4) определяется площадь ( $F_{\text{вид.экр.}}$ , м<sup>2</sup>) видимой части рекламного видеозэкрана.

4. Для каждого из светопроемов из которых оказался видимым (из расчетной точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема) рекламный видеозэкран или его часть по формуле (5) определяется эквивалентный (по площади видимой части рекламного видеозэкрана –  $F_{\text{вид.экр.}}$ , м<sup>2</sup>) диаметр равнояркого круга  $D_{\text{экв.}}$ , м.

5. Для каждого из светопроемов из которых оказался видимым (из расчетной точки расположенной на расстоянии 1-го метра от геометрического центра светопроема) рекламный видеозэкран или его часть по формуле (3) определяется угловой размер ( $\beta$ , в угловых градусах) рекламного видеозэкрана.

В случае если угловой размер рекламного видеозэкрана ( $\beta$ , °) окажется более двух угловых градусов, то в темное время суток рекламный видеозэкран должен работать только в статическом режиме (т.е. без смены изображений), а динамический режим работы рекламного видеозэкрана (со сменой изображений) будет возможен только в светлое время суток.

Одним из путей уменьшения углового размера рекламного видеозэкрана до нормируемого значения (до двух угловых градусов) является учет расположения светопроемов лестничных клеток на этажах наиболее близко расположенных зданий. Рекламный видеозэкран в этом случае необходимо зафиксировать таким образом, чтобы максимальная проекция длины видеозэкрана на плоскость, перпендикулярную линии зрения наблюдалась из окон лестничных клеток, для которых угловой размер рекламного видеозэкрана не нормируется. Примером такого расположения рекламного щита является его установка на улице Нижняя Масловка у дома №5, при которой засвечиваемые окна (эркеры) относятся к светопроемам лестничных клеток (см. рис. 3).



*Рисунок 3 – Общий вид рекламного щита с цифровой сменой изображения по адресу:  
г. Москва, САО, ТТК, ул. Нижняя Масловка, внутренняя сторона, д. 5*

Предложенный метод определения углового размера рекламного видеозащита позволит еще до установки рекламного щита с цифровой сменой изображения определить его оптимальное месторасположение, чтобы полностью исключить или минимизировать его возможное негативное влияние на прилегающую жилую застройку.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила установки и эксплуатации рекламных конструкций в городе Москве [Текст]. Постановление Правительства Москвы №712-ПП от 12.12.2012 г. (в редакции от 11.11.2014). – 34 с.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-2003 «Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий» [Текст]. – 44 с.
3. СанПиН 2.2.1/2.1.1.2585-2010 Изменения и дополнения №1 к санитарным правилам и нормам СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий [Текст]. – 7 с.
4. ГОСТ Р 54944-2012. Здания и сооружения. Методы измерения освещенности [Текст].
5. ГОСТ 26824-2010. Здания и сооружения. Методы измерения яркости [Текст].
6. СП 52.13330.2011 Актуализированный «СНиП 23-05-95\* Естественное и искусственное освещение» [Текст]. – 70 с.

#### **Шмаров Игорь Александрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, заведующий лабораторией «Строительная светотехника»

Тел.: +7 495 361 47 25

E-mail: shmarovigor@yandex.ru

#### **Козлов Владимир Александрович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Строительная светотехника»

Тел.: +7 495 779 95 21

E-mail: kozlov.vladi@yandex.ru

I. SHMAROV, V. KOZLOV

## TO THE QUESTION ABOUT THE IMPACT OF BILLBOARDS WITH DIGITAL IMAGE CHANGE ON ADJACENT RESIDENTIAL DEVELOPMENT

*In the article is considered the impact of billboards with digital image change on residential development. The main parameters of the advertising screens that have a impact on the surrounding buildings. The formulas for calculating the angular size of the promotional structure and the technique of its calculation.*

**Keywords:** *illuminance, brightness, angular size of the advertising structure.*

## **BIBLIOGRAPHY**

1. Pravila ustanovki i jekspluatacii reklamnyh konstrukcij v gorode Moskve [Tekst]. Postanovlenie Pravitel'stva Moskvy №712-PP ot 12.12.2012 g. (v redakcii ot 11.11.2014). – 34 s.
2. SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-2003 «Gigienicheskie trebovanija k estestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshhennomu osveshheniju zhilyh i obshhestvennyh zdaniij» [Tekst]. – 44 s.
3. SanPiN 2.2.1/2.1.1.2585-2010 Izmenenija i dopolnenija №1 k sanitarnym pravilam i normam SanPiN 2.2.1/2.1.1.1278-03 Gigienicheskie trebovanija k estestvennomu, iskusstvennomu i sovmeshhennomu osveshheniju zhilyh i obshhestvennyh zdaniij [Tekst]. – 7 s.
4. GOST R 54944-2012. Zdanija i sooruzhenija. Metody izmerenija osveshhennosti [Tekst].
5. GOST 26824-2010. Zdanija i sooruzhenija. Metody izmerenija jarkosti [Tekst].
6. SP 52.13330.2011 Aktualizirovannyj «SNiP 23-05-95\* Estestvennoe i iskusstvennoe osveshhenie» [Tekst]. – 70 s.

### **I. Shmarov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, head of laboratory «Building lighting»  
Ph.:+7 (495) 361 47 25  
E-mail: shmarovigor@yandex.ru

### **V. Kozlov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, leading researcher of the laboratory «Building lighting»  
Ph.:+7 495 779 95 21  
E-mail: kozlov.vladi@yandex.ru

УДК 699.82

ГАГАРИН В.Г., ПАСТУШКОВ П.П., РЕУТОВА Н.А.

### **К ВОПРОСУ О НАЗНАЧЕНИИ РАСЧЕТНОЙ ВЛАЖНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИЗОТЕРМЕ СОРБЦИИ**

*Даны определения понятий расчетной и эксплуатационной влажности строительных материалов. Объяснена важность точного определения расчетной влажности. Описаны проблемы определения расчетной влажности по результатам натурных исследований. Изложена методика назначения расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции. Приведены значения эксплуатационной влажности, полученные по результатам натурных исследований, а так же проведено сравнение с результатами лабораторных исследований сорбции образцов материалов, изъятых во время натурных исследований. Показано несовпадение полученных результатов, тем самым доказана несостоятельность методики назначения расчетной влажности строительных материалов по изотерме сорбции. Объяснены причины такого результата. Предложены альтернативные натурным исследованиям способы определения эксплуатационной влажности строительных материалов с помощью математического моделирования.*

**Ключевые слова:** *строительные материалы, расчетная влажность, эксплуатационная влажность, изотерма сорбции, натурные исследования.*

Расчетная влажность строительных материалов при условиях эксплуатации конструкции А и Б – один из важнейших теплотехнических показателей. От ее значений зависит расчетная теплопроводность, которая используется при расчетах теплозащиты здания. По результатам теплотехнических расчетов решается целый ряд вопросов: например выбор типа теплоизоляционного материала для многослойной конструкции или же необходимая толщина кладки для однослойной, а в общем – вопрос соответствия конструкции требованиям СНиП. Именно поэтому производители строительных материалов заинтересованы в том, чтобы значения расчетной влажности были, как можно ниже – этот фактор может являться конкурентным преимуществом. С другой стороны при снижении расчетной теплопроводности материала падает объем продаж.

Расчетная влажность – это эксплуатационная влажность материала для обобщенных условий эксплуатации (А или Б), назначаемых согласно табл. 2 СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий». Эксплуатационной влажностью называется равновесное влагосодержание материала в ограждении относительно воздействующих на него на нее влажностных факторов внутренней и наружной среды в условиях эксплуатации [1]. Основным способом определения эксплуатационной влажности являются натурные исследования. Однако результаты натурных исследований даже для одного типа конструкций при одних и тех же климатических условиях региона строительства могут иметь большой разброс [2]. С помощью статистических данных большого количества натурных исследований, а так же по экспертным оценкам были назначены значения расчетной влажности в условиях эксплуатации А и Б в таблице теплотехнических показателей (приложение С) СП 50.13330.2012. Эти значения переносятся в СНиП «Тепловая защита зданий» из редакции в редакцию лишь с небольшими изменениями и дополнениями, и для многих типов материалов их следует признать устаревшими. Так же в таблице СНиП просто нет многих новых видов материалов, которые появились на строительном рынке сравнительно недавно.

Чтобы решить эту проблему некоторые производители материалов вместо дорогостоящих и длительных исследований пошли по простому (и наименее затратному) пути назначения расчетной влажности по изотерме сорбции: значение расчетной влажности при условиях эксплуатации А принимается равным значению сорбционной влажности при относительной

влажности воздуха 80%; соответственно, при условиях эксплуатации Б – при 97%. Во всех случаях данные значения оказываются ниже значений из таблицы теплотехнических показателей СНиП, поэтому в настоящее время даже для тех видов материалов, которые в этой таблице есть, многие производители предпочитают пользоваться вышеизложенной методикой.

Лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН в 2013-2015 гг. был проведен ряд натурных исследований ограждающих конструкций в различных городах РФ (Москва, Тверь, Санкт-Петербург, Мурманск, Новосибирск, Петропавловск-Камчатский). Пробы материалов из ограждающих конструкций отбирались с помощью шлямбура (с привязкой к толщине конструкции), а затем определялась влажность каждой пробы термо-гравиметрическим методом в лабораторных условиях. В результате устанавливалось распределение влажности внутри конструкции и, далее, значения эксплуатационных влажностей материалов, входящих в ее состав. Значение эксплуатационной влажности материала (слоя конструкции) рассчитывалось, исходя из принципа равенства термического сопротивления слоя конструкции при неравномерно распределенной по толщине влажности и термического сопротивления при средней (эксплуатационной) влажности, по формуле:

$$w_3 \approx \frac{\delta}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{\eta + w_i}} - \frac{1}{\eta}, \quad (1)$$

где  $w_i$  – влажность материала в  $i$ -ом сечении конструкции, толщиной  $\Delta x_i$ ;  $\delta$  – толщина слоя материала, м;  $\eta$  – коэффициент теплотехнического качества (КТК)\*, 1/%.

Для анализа применимости методики назначения расчетной влажности материалов по изотерме сорбции, после определения эксплуатационной влажности, для некоторых извлеченных из конструкции образцов материалов были проведены исследования сорбции водяного пара по методике ГОСТ 24816-81 «Материалы строительные. Метод определения сорбционной влажности» [3, 4].

Результаты определения эксплуатационной влажности материалов по натурным исследованиям, а так же сорбция водяного пара при относительной влажности воздуха 80% и 97% образцами изъятых материалов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натурных и лабораторных исследований

Материал	Город (условия эксплуатации)	Эксплуатационная влажность, %	Сорбционная влажность, %, по массе при относительной влажности воздуха, %	
			80	97
Минеральная вата	Новосибирск (А)	1,13	0,36	1,07
Пенополистирол		3,13	0,05	0,2
Газобетон D400	Санкт-Петербург (Б)	8,8	4,65	5,23
Глиняный кирпич	Москва (Б)	4,75	0,4	1,1

Как описано выше, методика назначения расчетной влажности по изотерме сорбции заключается в приравнивании сорбционной влажности при 80 % к расчетной при условиях эксплуатации А, а при 97% – к расчетной при условиях эксплуатации Б. Как видно из таблицы 1 такого совпадения значений нет, более того эти значения в некоторых случаях расходятся на порядок. Это объясняется тем, что кроме сорбции влаги из наружного воздуха строительные материалы во время эксплуатации подвергаются еще и другим механизмам увлажнения, таким как сезонное движения влаги в виде пара и жидкости внутри конструкции, увлажнения косыми дождями и т.д. [5]. Поэтому не учитывать эти механизмы и назначать расчетную влажность материалов только по значениям сорбционной влажности является ошибочным путем.

\* По определению д.т.н., проф. В.Г. Гагарина

Представляется верным способ определения эксплуатационной влажности строительных материалов путем проведения численных расчетов, влажностного режима по нестационарной методике [1, 6] с последующей коррекцией данных по результатам серий натуральных исследований в различных климатических зонах строительства. Такая возможность имеется в связи с введением нового Межгосударственного стандарта: ГОСТ 32494-2013 «Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций». Данный стандарт учитывает все основные механизмы увлажнения строительных материалов в конструкциях, однако кроме изотерм сорбции требует знаний таких показателей материалов, как теплопроводность, паропроницаемость, влагопроводность, коэффициент капиллярного всасывания. При этом расчеты по описанной математической модели дают хорошую сходимость результатов с натурными исследованиями.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пастушков, П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства [Текст] / П.П. Пастушков, Г.И. Гринфельд, Н.В. Павленко и др. // Вестник МГСУ. – М., 2015. – №2. – С. 60-70.
2. Васильев, Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий [Текст] / Б.Ф. Васильев. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 214 с.
3. Киселев, И.Я. Метод расчёта равновесной сорбционной влажности строительных материалов [Текст] / И.Я. Киселев // Вестник МГСУ. – М., 2011. – №3-2. – С. 92.
4. Киселев, И.Я. Ошибки измерения равновесной сорбционной влажности материалов ограждающих конструкций эксикаторным методом [Текст] / И.Я. Киселев // Academia. Архитектура и строительство. – М., 2010. – №3. – С. 623-628.
5. Гагарин, В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий: дис. ... доктора техн. наук. – М., 2000. – 396 с.
6. Пастушков, П.П. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией [Текст] / П.П. Пастушков, К.И. Лушин, Н.В. Павленко // Жилищное строительство. – 2014. – №6. – С. 42-44.

#### **Гагарин Владимир Геннадьевич**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Доктор технических наук, профессор  
Тел.: +7 903 724 57 63  
E-mail: gagarinvg@yandex.ru

#### **Пастушков Павел Павлович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Кандидат технических наук, старший научный сотрудник  
Тел.: +7 926 384 25 28  
E-mail: pavel-one@mail.ru

#### **Реутова Надежда Александровна**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва  
Инженер  
Тел.: +7 905 776 97 86

---

V. GAGARIN, P. PASTUSHKOV, N. REUTOVA

### **USAGE OF CALCULATED DEFINITION OF THE OPERATING HUMIDITY OF THERMAL INSULATION MATERIALS**

*The definitions of operational and calculated humidity of building materials are given. The importance of accurate determination of the calculated humidity is explained. The problems of determin-*

ing the estimated humidity on the results of field studies are described. The technique destination calculated humidity of building materials for sorption isotherm is presented. The values of operational humidity, obtained from the results of field studies are shown, as well as a comparisons with the results of laboratory tests of samples of sorption materials seized during the field studies are presented in this paper. Displaying mismatch results obtained thus proved the inadequacy of methodology of destination calculation humidity of building materials by sorption isotherm. The reasons of this result are explained. It proposed alternative methods of determining the in natural investigations of operational humidity of construction materials using mathematical modeling.

**Keywords:** building materials, the calculated humidity, operating humidity, sorption isotherm, field studies.

## BIBLIOGRAPHY

1. Pastushkov, P.P. Raschetnoe opredelenie jekspluatacionnoj vlazhnosti avtoklavnogo gazobetona v razlichnyh klimaticheskikh zonah stroitel'stva [Tekst] / P.P. Pastushkov, G.I. Grinfel'd, N.V. Pavlenko i dr. // Vestnik MGSU. – M., 2015. – №2. – S. 60-70.
2. Vasil'ev, B.F. Naturnye issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zhilyh zdaniy [Tekst] / B.F. Vasil'ev. – M.: Gos. izd-vo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1957. – 214 s.
3. Kiselev, I.Ja. Metod raschjota ravnovesnoj sorbcionnoj vlazhnosti stroitel'nyh materialov [Tekst] / I.Ja. Kiselev // Vestnik MGSU. – M., 2011. – №3-2. – S. 92.
4. Kiselev, I.Ja. Oshibki izmerenija ravnovesnoj sorbcionnoj vlazhnosti materialov ograzhdajushhih konstrukcij jeksikatornym metodom [Tekst] / I.Ja. Kiselev // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – M., 2010. – №3. – S. 623-628.
5. Gagarin, V.G. Teorija sostojanija i perenosa vlagi v stroitel'nyh materialah i teplozashhitnye svojstva ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy: dis. ... doktora tehn. nauk. – M., 2000. – 396 s.
6. Pastushkov, P.P. Otsutstvie problemy vypadenija kondensata na vnutrennej poverhnosti sten so skrepljennoj teploizoljaciej [Tekst] / P.P. Pastushkov, K.I. Lushin, N.V. Pavlenko // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2014. – №6. – S. 42-44.

### V. Gagarin

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, professor  
Ph.:+7 903 724 57 63  
E-mail: gagarinvg@yandex.ru

### P. Pastushkov

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Candidate of technical sciences, senior researcher  
Ph.:+7 926 384 25 28  
E-mail: pavel-one@mail.ru

### N. Reutova

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Engineer  
Ph.:+7 905 776 97 86

ГУСЕВ В.П., ЛЕШКО М.Ю.

## ШУМ ФЭНКОЙЛОВ И ОПЫТ ЕГО СНИЖЕНИЯ В ГОСТИНИЧНЫХ НОМЕРАХ

*Приводится краткая характеристика фэнкойлов (доводчиков) как источников шума, широко применяемых в современных общественных зданиях при кондиционировании воздуха для создания нормативного микроклимата. Рассмотрены два случая их применения в гостиничных номерах и особенности их эксплуатации. Описан опыт расчёта и проектирования шумоглушения одноканального и двухканального фэнкойлов. Для снижения уровней аэродинамического шума в гостиничных номерах до нормативных значений предлагаются шумозащитные мероприятия, а именно устанавливать в свободные объёмы запотолочного пространства в местах размещения фэнкойлов гибкие воздуховоды со звукопоглощением или лабиринтные глушители.*

**Ключевые слова:** фэнкойл, шумозащитные мероприятия, гибкий воздуховод со звукопоглощением, лабиринтный глушитель.

Фэнкойлы (доводчики) – элементы систем кондиционирования воздуха, широко применяемых в современных жилых и общественных зданиях для создания микроклимата. Эти устройства излучают при работе в окружающее пространство и в присоединяемые воздуховоды шум, звуковая мощность которого зависит от режима работы (скорости вращения рабочего колеса вентилятора). В обслуживаемых помещениях не редко возникает негативная ситуация (ненормативные акустические условия).

Таковыми неблагоприятными с точки зрения акустики помещениями, в первую очередь, являются гостиничные номера с их спецификой планировки. Она заключается в том, что в номерах воздух из коридора забирается вентилятором фэнкойла, установленного в запотолочном пространстве (за подвесным потолком), охлаждается в теплообменнике и подается через воздухоприточную решетку непосредственно в спальное помещение. Вместе с воздухом в него проникает и аэродинамический шум, уровни которого часто превышают допустимые значения даже при минимальном расходе воздуха. Разумеется, такая ситуация возникает преимущественно в ночное время сток.

На представленную картину накладываются другие факторы, не связанные непосредственно с производительностью фэнкойлов или излучением шума. Это касается отказа проектировщиков от акустических расчётов в надежде на заверения поставщика оборудования о малозумности агрегата, представляющего не основные шумовые характеристики, а дополнительные: скорректированные уровни звука в дБ А агрегата, измеренные в неизвестных условиях, либо скорректированные октавные уровни звуковой мощности [7]. В результате в номере монтируется фэнкойл, проводятся отделочные работы, а при контрольных измерениях шума выясняется, что его нельзя эксплуатировать из-за повышенного шума.

Как у всех приточно-вытяжных вентустановок, шум фэнкойла можно разложить на три составляющих: воздушный шум, излучаемый его корпусом в окружающее пространство, аэродинамический шум всасывания и нагнетания, распространяющийся из патрубков в воздуховоды.

Для снижения корпусного шума существуют разнообразные звукоизолирующие кожухи и покрытия. Наиболее сложной задачей является снижение двух других составляющих, поскольку свободные объёмы (размеры запотолочного пространства) в местах размещения фэнкойлов крайне ограничены.

Аэродинамический шум на сторонах всасывания и нагнетания вентиляторов вентсистем традиционно снижают посредством абсорбционных глушителей (трубчатых, пластинчатых, канальных). Минимальная длина серийно выпускаемых глушителей 600 мм, а размеры свободных объёмов не превышают 400 мм, а изготовленные по спецзаказу глушители такой длины не обеспечат требуемую эффективность [2].

Статья посвящена технологии борьбы с повышенным воздушным и аэродинамическим шумом фэнкойлов в гостиницах – последовательность действий, приводящая к обеспечению в номерах нормативных акустических условий.

Оптимальная с точки зрения акустики и экономики защита от шума на проектируемых объектах начинается с достаточно точного определения его требуемого снижения путём расчёта согласно СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» и справочного пособия к нему [1] (на действующем объекте целесообразно проводить измерения).

Фэнкойлы устанавливают, как правило, в пространстве за подвесным потолком входного коридора, выполненным из двух слоёв гипсокартона. В этом случае часто имеющийся недостаток звукоизоляции потолка из-за отверстий для светильников можно компенсировать снижением его корпусного шума посредством облицовки слоем звукопоглощающего материала внутренних поверхностей указанного пространства. Это могут быть минераловатные плиты толщиной 80÷100 мм, плотностью 50÷70 кг/м<sup>3</sup>. Мера достаточная, если превышения октавных уровней шума в помещении над допустимыми значениями пределах от 2 до 6 дБ.

Для снижения аэродинамического шума всасывания и нагнетания пригодны гибкие воздуховоды (ГВ) со звукопоглощением, такие как «IsoDFA-S» [3, 4, 5]. Они могут располагаться в свернутом (зигзагообразном) виде у фэнкойла с боков от корпуса в имеющихся пазухах достаточно больших размеров. ГВ обеспечивают весьма высокую акустическую эффективность в широком диапазоне измеряемых частот. В диапазоне высоких частот она не ниже, чем у соответствующих (по внутреннему сечению) традиционных трубчатых глушителей, а в диапазоне низких частот значительно выше, и зависит от диаметра воздуховода и его длины [3, 6].

Эффект установки ГВ без звукопоглощения значительно ниже, чем с ним, особенно в низкочастотном диапазоне (разница достигает 19-24 дБ). Вместе с тем, в диапазоне высоких частот (1000 Гц и выше) они обеспечивают снижение уровня на 17-24 дБ. Правда, стенки ГВ имеют значительно более низкую звукоизолирующую способность по сравнению, например, со стенками типовых воздуховодов вентсистем. Поэтому начальные участки ГВ, присоединённые к вентилятору, фэнкойлу, могут при определённых условиях излучать в окружающее пространство повышенный шум.

Представляем два положительных опыта применения гибких воздуховодов для снижения шума фэнкойлов.

1. Одноканальный фэнкойл (с одним всасывающим и одним нагнетающим отверстием диаметром 200 мм) фирмы «Carrier» установлен в запотолочном пространстве коридора в стандартном номере гостиницы, имеющей по международной классификации четыре звезды. Площадь номера 18 м<sup>2</sup>, высота потолка 2,7 м.

Рассмотрим работу агрегата на средней скорости при расходе воздуха 350 м<sup>3</sup>/ч. В качестве исходных данных используем основные шумовые характеристики (октавные уровни звуковой мощности – УЗМ) фэнкойла, представленные изготовителем – фирмой «Carrier». Они вместе с дополнительными характеристиками (корректированными уровнями звуковой мощности) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Шумовые характеристики одноканального фэнкойла

Модель фэнкойла, режимы работы	Уровни звуковой мощности, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц								Корр. УЗМ, дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
42 EM 0,5									
- нагнетание	51	53	48	45	40	39	31	28	49
- всасывание	56	58	57	51	49	38	29	26	51
- корпус	50	51	44	42	38	31	19	17	51

По этим исходным данным уровни шума в гостиничном номере рассчитаем согласно [1, 2]. Результаты расчетов уровней шума (уровней звукового давления – УЗД) представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Расчётные УЗД в помещении номера гостиницы

Величина	Уровни звукового давления, дБ, на среднегеометрических частотах октавных полос, Гц								Уровни звука, дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Шум нагнетания:									
- УЗД в номере	49	51	46	43	37	34	25	21	45
- Допустимые УЗД, дБ	50	39	30	24	20	17	15	13	25
- Треб. снижение шума	-	<b>12</b>	<b>16</b>	<b>19</b>	<b>17</b>	<b>17</b>	<b>10</b>	<b>8</b>	<b>20</b>
2. Шум всасывания									
- УЗД номере	54	56	55	49	46	33	23	11	52
- Допустимые УЗД, дБ	50	39	30	24	20	17	15	13	25
- Треб. снижение шума	<b>4</b>	<b>17</b>	<b>25</b>	<b>25</b>	<b>26</b>	<b>16</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>27</b>

Как видно, уровни звукового давления, создаваемые фэнкойлом в помещении, существенно превышают допустимые значения. Для снижения шума используем гибкие воздуховоды типа «IsoDFA-S». Эффективность таких воздуховодов с внутренним диаметром 200 мм, длиной 1000, 2000 и 3000 мм, определённая по результатам испытаний на аэроакустическом стенде института [3, 4], приведена в таблице 3.

Таблица 3 – Эффективность гибких воздуховодов

Тип воздуховода, внутренний диаметр	Длина, мм.	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц							
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
IsoDFA-S, 200 мм	3000	9	19	27	28	30	36	34	19
	2000	9	17	24	25	27	30	24	13
	1000	8	16	21	21	23	25	16	9

По требуемому снижению шума, приведённому в таблице 2, находим, что для обеспечения нормативных требований в номере, достаточно на стороне нагнетания фэнкойла установить гибкий воздуховод длиной 1 м. На стороне всасывания его длина должна быть не менее 3 м.

Ожидаемые уровни шума в номере после установки гибких воздуховодов в сравнении с допустимыми значениями представлены в графической форме на рисунках 1 и 2. Как видно, они удовлетворяют нормативным требованиям.

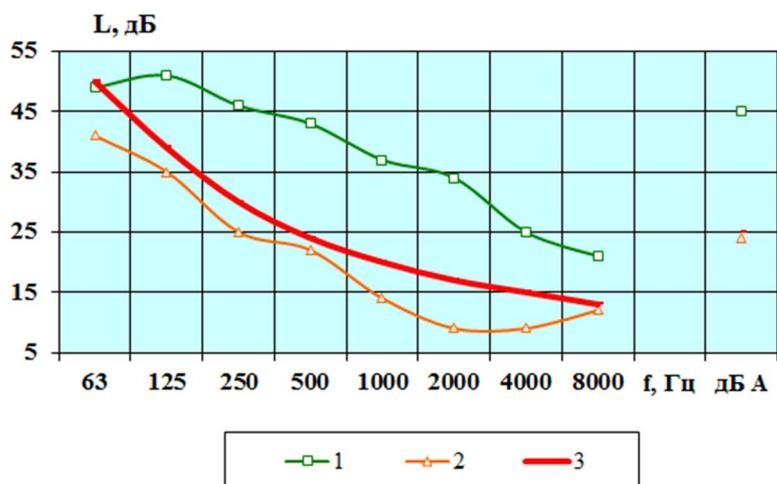


Рисунок 1 – Шум нагнетания фэнкойла в гостиничном номере  
1 – без воздуховода «IsoDFA-S»; 2 – с воздуховодом «IsoDFA-S» l = 1 м;  
3 – допустимые уровни шума

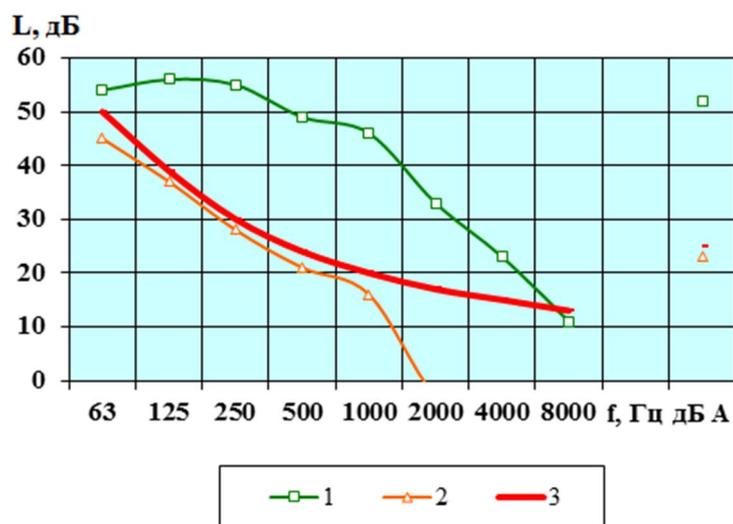


Рисунок 2 – Шум всасывания фэнкойла в гостиничном номере  
 1 – без ГВ «IsoDFA-S»; 2 – с ГВ «IsoDFA-S» длиной 3 м;  
 3 – допустимые уровни шума

Прогноз, основанный на точном расчёте, оправдался и после введения в строй объекта в данном номере, и в подобных ему номерах были обеспечены нормативные акустические условия.

2. Типовой номер гостиницы, имеющей по международной классификации четыре звезды, состоит из спального помещения, входного коридора-тамбура и санузла. Общая площадь номера около 31 м<sup>2</sup>, высота потолка 2,9 м.

Для создания климата в спальном помещении и коридоре номера предусмотрен двухканальный фэнкойл фирмы «Carrier» типа 42EM10AGAAN22A. Обработанный воздух подается через два гибких воздуховода без звукопоглощения, присоединяемым к фэнкойлу через два нагнетательных втулочных соединения, в камеру статического давления и далее через приточную решетку типа ALE размером 800×150 мм в коридор, откуда поступает в спальное помещение.

Забор внутреннего воздуха осуществляется из другого конца коридора через щель размерами 850×100 мм в подвесном потолке, откуда из подпотолочного пространства засасывается вентилятором фэнкойла (осуществляется неорганизованный воздухозабор).

Проектом предусмотрены два режима работы фэнкойла: дневной (расход воздуха 484 м<sup>3</sup>/ч) и ночной (расход воздуха 314 м<sup>3</sup>/ч). Рассматриваем более жесткий с точки зрения акустики ночной режим. Шумовые характеристики фэнкойла в этом режиме представлены в таблице 4.

Таблица 4 – Шумовые характеристики фэнкойла

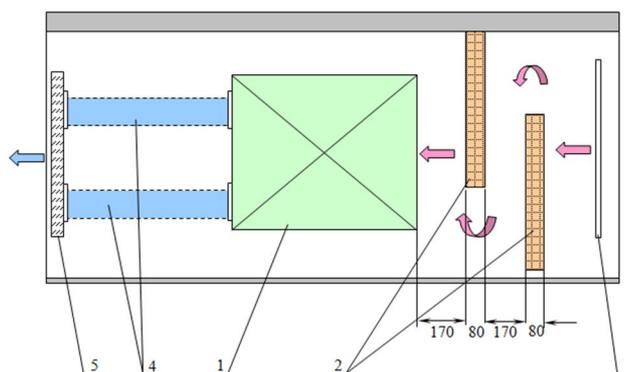
Направление распространения шума	Уровни звуковой мощности (дБ) на среднегеометрических частотах октавных полос (Гц)								Корр. УЗМ, дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Сторона нагнетания, дБ	47	45	42	34	29	21	17	15	37
2. Сторона всасывания, дБ,	51	49	45	41	33	27	19	17	42
3. Корпус	47	45	37	31	23	16	14	12	34

По данным шумовым характеристикам, как в первом случае, рассчитаем уровни аэродинамического шума, создаваемые фэнкойлом в обслуживаемом помещении. При этом учитываем, что со стороны всасывания шум, проникающий в помещение коридора через воздухозаборную щель, складывается из шума всасывания и шума корпуса (неорганизованный воздухозабор). Результаты расчетов представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчётов УЗД в номере

Величина	Уровни звукового давления, дБ, на средне-геометрических частотах октавных полос, Гц								Уровни звука, дБ А
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1. Шум нагнетания:									
- УЗД в номере	39	41	43	38	34	25	20	16	39
- Допустимые УЗД, дБ	50	39	30	24	20	17	15	13	25
- Треб. снижение шума	-	<b>2</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>14</b>
2. Шум всасывания									
- УЗД номере	44	46	47	45	38	31	23	19	44
- Допустимые УЗД, дБ	50	39	30	24	20	17	15	13	25
- Треб. снижение шума	-	<b>7</b>	<b>17</b>	<b>21</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>6</b>	<b>19</b>

Как видно, расчётный шумовой режим в номере значительно отличается от соответствующего нормам. Для обеспечения нормативных акустических условий предложено на стороне нагнетания фэнкойла установить гибкие воздуховоды со звукопоглощением типа «IsoDFA-S» длиной 1 м (рис. 3). При этом камера статического давления (п. 5), к которой крепится воздухоприточная решетка, должна быть облицована изнутри звукопоглощающим материалом с защитным слоем матами из ультратонкого стекловолокна, кашированными стеклохолстом. Толщина звукопоглощающей облицовки 50 мм.



**Рисунок 3 – Схема установки «лабиринтного» глушителя**  
 1 – фэнкойл; 2 – звукопоглощающие пластины «лабиринтного» глушителя;  
 3 – воздухозаборная щель; 4 – гибкие воздуховоды со звукопоглощением;  
 5 – камера статического давления с воздухоприточной решеткой

Для снижения шума всасывания на стороне забора воздуха фэнкойла предложено установить два круглых патрубка, присоединить к ним два гибких воздуховода со звукопоглощением типа «IsoDFA-S» длиной 2 м, соединяющие патрубки с воздухозаборной решеткой через камеру статического давления (т.е. осуществить «организованный» забор воздуха). Воздуховоды при необходимости могут быть изогнуты по месту.

В качестве альтернативного технического решения предлагалось установить со стороны забора воздуха, между воздухозаборным отверстием и фэнкойлом, «лабиринтный» глушитель: две звукопоглощающих пластины толщиной 50-80 мм, расположенных перпендикулярно к направлению потока воздуха, как показано на схеме на рисунке 3.

Высота пластин равна высоте пазухи подвесного потолка. Эффективность данного решения была определена по результатам испытаний модели в лабораторных условиях. Она возрастает с уменьшением расстояния между пластинами.

Внедрение в пилотных номерах показало, что предлагаемые решения обеспечивают необходимое снижение аэродинамического шума и могут быть тиражированы. В результате проблема защиты от шума фэнкойлов была решена в гостинице в целом.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гусев, В.П. Расчет и проектирование шумоглушения систем вентиляции, кондиционирования воздуха и воздушного отопления [Текст] / В.П. Гусев, В.И. Леденев, М.Ю. Лешко // Справочное пособие под редакцией И.Л. Шубина. – М.: НИИСФ РААСН, 2013. – 80 с.
2. Гусев, В.П. Акустические характеристики абсорбционных глушителей для защиты зданий и территорий застройки от вентиляционного шума [Текст] / В.П. Гусев // Безопасность жизнедеятельности. – 2003. – №3. – С. 53-59.
3. Гусев, В.П. Акустические и аэродинамические характеристики гибких воздуховодов [Текст] / В.П. Гусев // АВОК. – 2004. – №1. – С. 43-47.
4. Гусев, В.П. Акустические возможности гибких воздуховодов, применяемых в системах ОВКт [Текст] / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко, А.В. Сидорина // АВОК. – 2015. – №1. – С. 64-69.
5. Гусев, В.П. Из опыта борьбы с шумом оборудования инженерных систем [Текст] / В.П. Гусев // АВОК. – 2012. – №2. – С. 38-42; №3. – С. 38-43.
6. Гусев, В.П. Генерация аэродинамического шума в элементах систем вентиляции [Текст] / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко, М.Ю. Пестерева // АВОК. – 2006. – №3. – С. 70-74.
7. Гусев В.П. Опыт оценки эффективности средств защиты от шума канальных и центробежных вентиляторов [Текст] / В.П. Гусев, М.Ю. Лешко // АВОК. – 2007. – №2. – С. 50-54.

### Гусев Владимир Петрович

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий лабораторией защиты от шума вентиляционного и инженерно-технологического оборудования

Тел.: +7 (495) 482-40-33

E-mail: gusev-43@mail.ru

### Лешко Михаил Юрьевич

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Инженер, старший научный сотрудник

Тел.: +7 (495) 482-41-77

E-mail: mleshko@yandex.ru

---

V. GUSEV, M. LESHKO

## NOISE FANCOIL AND EXPERIENCE OF ITS DECREASE IN HOTEL ROOMS

*The short characteristic of fancoil (closers) as the sources of noise which are widely applied in modern public buildings at air conditioning to creation of a standard microclimate is provided. Two cases of their application in hotel rooms and feature of their operation are considered. Experience of calculation and design of noise suppression of single-channel and two-channel fancoil is described. For decrease in levels of aerodynamic noise in hotel rooms to standard values noise-protective actions are offered, namely to establish in free volumes of space behind a false ceiling in locations of fancoil flexible air ducts with a sound absorption or labyrinth mufflers.*

**Keywords:** fan coil, noise protection measures, flexible duct with sound absorption, labyrinthine silencer.

## BIBLIOGRAPHY

1. Gusev, V.P. Raschet i proektirovanie shumoglušenija sistem ventiljacji, kondicionirovanija vozduha i vozdušnogo otoplenija [Tekst] / V.P. Gusev, V.I. Ledenev, M.Ju. Leshko // Spravochnoe posobie pod redakciej I.L. Shubina. – М.: NIISF RAASN, 2013. – 80 s.

2. Gusev, V.P. Akusticheskie harakteristiki absorbcionnyh glushitelej dlja zashhity zdaniy i territorij zastrojki ot ventiljacionnogo shuma [Tekst] / V.P. Gusev // Bezopasnost' zhiznedejatel'nosti. – 2003. – №3. – S. 53-59.
3. Gusev, V.P. Akusticheskie i ajerodinamicheskie harakteristiki gibkih vozduhovodov [Tekst] / V.P. Gusev // AVOK. – 2004. – №1. – S. 43-47.
4. Gusev, V.P. Akusticheskie vozmozhnosti gibkih vozduhovodov, primenjaemyh v sistemah OVkt [Tekst] / V.P. Gusev, M.Ju. Leshko, A.V. Sidorina // AVOK. – 2015. – №1. – S. 64-69.
5. Gusev, V.P. Iz opyta bor'by s shumom oborudovanija inzhenernyh sistem [Tekst] / V.P. Gusev // AVOK. – 2012. – №2. – S. 38-42; №3. – S. 38-43.
6. Gusev, V.P. Generacija ajerodinamicheskogo shuma v jelementah sistem ventiljicii [Tekst] / V.P. Gusev, M.Ju. Leshko, M.Ju. Pestereva // AVOK. – 2006. – №3. – S. 70-74.
7. Gusev V.P. Opyt ocenki jeffektivnosti sredstv zashhity ot shuma kanal'nyh i centrobeznyh ventiljatorov [Tekst] / V.P. Gusev, M.Ju. Leshko // AVOK. – 2007. – №2. – S. 50-54.

**V. Gusev**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Doctor of technical sciences, head of laboratory noise protection ventilation and engineering equipment  
Ph.: +7 (495) 482-40-33  
E-mail: gusev-43@mail.ru

**M. Leshko**

Research Institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow  
Engineer, senior researcher  
Ph.: +7 (495) 482-41-77  
E-mail: mleshko@yandex.ru

ЛАПИДУС А.А., ГОВОРУХА П.А.

## КОМПЛЕКСНЫЙ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ УСТРОЙСТВА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ

*Рассмотрено формирование комплексного показателя эффективности при устройстве ограждающих конструкций, как дискретной величины, позволяющей наглядно продемонстрировать объективность выбранного направления реализации проекта строительства. Проведено исследование по определению объемов выполненных работ по данному направлению. Приведены критерии выбора производственно-технологических модулей (ПТМ), являющихся переменными в функциональной взаимосвязи между конечным интегральным показателем эффективности и непосредственно строительно-монтажными работами. Показана необходимость определения оптимального количества экспериментов в ходе моделирования многофакторных систем. Обозначен способ проведения экспериментов для получения значимости ПТМ и определения их «весовых» характеристик, необходимых для построения математической модели. Описано концептуальное построение математической модели для работы с многофакторной системой, позволяющей сформировать организационно-технологический потенциал устройства ограждающих конструкций для многоэтажных жилых зданий.*

**Ключевые слова:** интегральный потенциал, комплексный показатель эффективности, производственно-технологические модули, ограждающие конструкции.

При постоянно меняющихся экономических условиях реализации строительного проекта, для каждой вовлеченной в производственный процесс организации необходимо оценивать эффективность, как своих финансовых инвестиций, так и принятых организационно-технологических решений. В настоящее время, это может быть выполнено при помощи субъективного сравнительного анализа отдельных разделов проекта с аналогичными разделами уже завершенных проектов, об уровнях эффективности которых есть экспертная оценка. Как правило, под данной эффективностью понимается качественный характер оценки, по которому нельзя судить об объективности данного заключения в связи с отсутствием принципов и структурированных критериев оценки.

В связи с актуальностью данного вопроса, в последние годы стало активно развиваться направление, связанное с комплексной оценкой строительного проекта, позволяющей объективно судить об уровне эффективности принятых решений. Исследования, с точки зрения организационно-технологических мероприятий в строительном проекте, направлены на получение некоторого интегрального показателя – потенциала эффективности организационно-технологических решений строительного объекта [3].

В конечном виде под «Потенциалом» понимается некоторый комплексный показатель, который наглядно отображает информацию о выбранном организационно-технологическом способе производства работ. Можно предположить, что наиболее наглядным способом отображения объективности выбранного решения будет, является некоторое дискретное значение, находящееся в определенном диапазоне значений, между максимальным, наилучшим значением, и минимальным, наихудшим значением. Данное дискретное значение формируется на основании функциональной зависимости с некоторым количеством переменных.

Для получения комплексного показателя эффективности используются подходы системотехники [2], на основании которых происходит дифференциация строительно-монтажных работ на составные части. Описывая «потенциал» проекта в целом, исходим из того, что этими отдельными элементами являются локальные организационно-технические потенциалы, описывающие целые направления строительной деятельности. Для построения локальных потенциалов выделяют более частные строительные работы, которым присвоены название производственно-технологические модули (ПТМ).

В настоящее время было выполнено определенное количество работ для создания локальных показателей эффективности по следующим направлениям: исследования интегрального показателя качества, учитывающего влияние организационно-технологических решений при формировании строительной площадки [3], оценка обобщенного показателя экологической нагрузки при возведении строительного объекта [1], определение комплексной оценки результативности строительных компаний [5], подбор наилучших проектных решений [9].

В данном исследовании развивается направление, связанное с формированием организационно-технологического потенциала ограждающих конструкций в многоэтажных жилых зданиях – *Pes (potential of enclosing structures)* [5]. Под ограждающими конструкциями в данном исследовании принимаются вертикальные несущие конструкции, закрывающие контур здания для создания благоприятных внутренних условий обитания.

Для получения комплексного организационно-технологического показателя ограждающих конструкций необходимо выделить переменные (ПТМ), которые влияют на данный вид строительного-монтажных работ. При отборе производственно-технологических модулей необходимо руководствоваться следующими критериями: ПТМ должен оказывать значимое влияние на конечный показатель – «организационно-технологический потенциал ограждающих конструкций» – *Pes*; подлежат однозначному описанию; должен нормироваться по шкале – 1 - +1.

На основании проведенной консультации с экспертами и систематизации полученной информации были выделены производственно-технологические модули, приведенные в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень производственно-технологических модулей (ПТМ)

№ п/п	Наименование	Обозначение
1	Обеспеченность автономными подъемными механизмами.	×1
2	Обеспеченность высококвалифицированным персоналом.	×2
3	Уровень оптимизации организационно-технологической документации.	×3
4	Степень строительной готовности объекта для выполнения строительных работ.	×4
5	Возможность выполнение работ при отрицательных температурах.	×5
6	Количество процессов, при устройстве ограждающих конструкций.	×6
7	Близость материально-технической базы к объекту.	×7
8	Расположение объекта рядом с крупными транспортными магистралями.	×8
9	Количество независимых субподрядных организация на данном виде работ.	×9
10	Опыт работы Заказчика и Генподрядчика в данном направлении.	×10

Каждый ПТМ варьируется на трех уровнях. Для полного понимания работы этой системы необходимо описать все возможные состояния системы. Для определения количества необходимых экспериментов используется следующая формула:

$$p^k = N, \tag{1}$$

где  $p$  – число уровней;  $k$  – число переменных (ПТМ);  $N$  – число опытов.

Для полного исследования данной системы необходимо провести  $3^{10} = 59049$  опытов. В связи со сложностью проведения расчетов при моделирование многофакторных систем это количество крайне велико. В целях уменьшения количества экспериментов, а значит уменьшения количества переменных, необходимо определить значимость каждого отдельного производственно-технологического модуля. Для этого используется метод квалиметрического анализа [2]. В процессе исследования были сформированы 10 экспертных групп, которым предлагалось выставить баллы от 1 до 10 для каждого ПТМ. Результаты экспертного опроса приведены на рисунке 1.

Полученную информацию, характеризующую производственно-технологические модули, подвергли методам парной корреляции с построением интеркорреляционной матрицы и выделением наиболее сводимых групп переменных, в итоге получив 4 группы ПТМ.

Благодаря этому подходу удалось добиться ощутимого уменьшения потребных опытов до приемлемой величины  $3^4 = 81$ , что в 729 раз меньше первоначального количества.

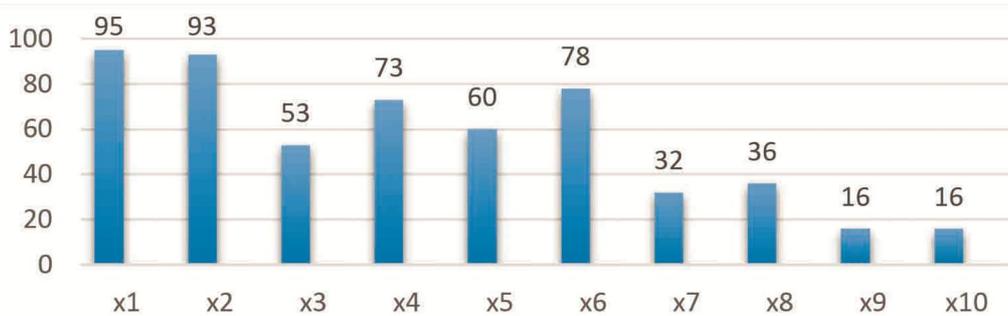


Рисунок 1 – Диаграмма распределения значимости ПТМ

Для математического отображения организационно-технологического потенциала ограждающих конструкций используется методика моделирования многофакторных систем, концептуально описываемая в следующем виде:

Рассмотрим существование некоторой функции  $y = f(v_i)$ , представим ее в виде:

$$y = f(v_1, v_2, \dots, v_n), \quad (2)$$

где  $y$  – результирующий показатель эффективности;  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$  – совокупность функционально-зависимых факторов (ПТМ).

На основании прямой взаимосвязи между комплексным показателем эффективности и ПТМ, на принципах системотехники, первоначально считаем, что функция имеет линейную зависимость. Исходя из этого, выражение (2) примет следующий вид:

$$P_{cw} = \sum_{i=1}^n v_i = v_1 + v_2 + \dots + v_n, \quad (3)$$

где  $P_{cw}$  – дискретный показатель потенциала ограждающих конструкций ( $P_{cw}$ );  $(v_1, v_2, \dots, v_n)$  – совокупность ПТМ.

Для дальнейшего формирования «потенциала» необходимо создание факторной матрицы с определением «весовых» характеристик производственно-технологических модулей, значимость которых в итоге определяется в долях от единицы  $Pes$ . С учетом данной корректировки выражение (3) примет вид:

$$P_{cw} = \sum_{i=1}^n v_i \cdot W_i = v_1 \cdot W_1 + v_2 \cdot W_2 + \dots + v_n \cdot W_n, \quad (4)$$

где  $W_i$  – коэффициент весомости, соответствующий  $i$ -му модулю.

В результате данного исследования удалось сформировать и описать производственно-технологические модули характеризующее возведение ограждающих конструкций в многоэтажных жилых зданиях.

Обозначена значимость каждого отдельного производственно-технологического модуля и весовые характеристики групп переменных, которые будут задействованы в дальнейших исследованиях.

В дальнейшем, проведение исследований будет направлено на формирование базы данных организационно-технологических потенциалов завершенных проектов. Благодаря чему, можно будет выделить оптимальные решения позволяющие улучшить стоимость и сроки производства работ при строительстве жилых многоэтажных зданий.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бережный, А.Ю. Системотехника строительства как теоретическая основа для оценки обобщенного показателя экологической нагрузки при возведении строительного объекта [Текст] / А.Ю. Бережный // Техническое регулирование. Строительство, проектирование и изыскания. – М.: 2011. – №10 (11) – С. 50-52.
2. Гусаков, А.А. Системотехника строительства [Текст] / А.А. Гусаков. – М.: АСВ, 2004.
3. Лapidус, А.А. Потенциал эффективности организационно-технологических решений строительного объекта [Текст] / А.А. Лapidус // Вестник МГСУ. – 2014. – №1. – С. 175-180.
4. Демидов, Л.П. Исследования по применению метода экспертных оценок при анализе потенциала строительной площадки [Текст] / Л.П. Демидов // Технология и организация строительного производства. – М. – №1(6). – С. 62-64.

5. Лapidус, А.А. Математическая модель оценки обобщенного показателя экологической нагрузки при возведении строительного объекта [Текст] / А.А. Лapidус, А.Ю. Бережный // Вестник МГСУ. – 2012. – №3. – С. 149-153.

6. Лapidус, А.А. Организационно-технологический потенциал ограждающих конструкций многоэтажных жилых зданий [Текст] / А.А. Лapidус, П.А. Говоруха // Вестник МГСУ. – 2015. – №4. – С. 143-149.

7. Маргулин, В.М. Квалиметрическая экспертиза строительных объектов [Текст] / В.М. Маргулин, Г.Г. Азгальдов. – СПб.: Политехника, 2008. – 527 с.

8. Сайдаев, Х.Л. Система менеджмента качества как необходимый инструмент развития строительной отрасли [Текст] / Х.Л. Сайдаев // Техническое регулирование. Строительство, проектирование и изыскания – М.: МГСУ. – 2012. – №6. – С. 37-38.

9. Орлов, К.О. Комплексный показатель результативности проектов массовой малоэтажной застройки при использовании различных современных технологий модульного домостроения [Текст] / К.О. Орлов // Технология и организация строительного производства. – 2013. – №1. – С. 40-42.

#### Лapidус Азарий Абрамович

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Технология и организация строительного производства»

Тел.: +7 903 792 17 17

E-mail: lapidus58@mail.ru

#### Говоруха Петр Анатольевич

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Аспирант, ассистент кафедры «Технология и организация строительного производства»

Тел.: +7 916 372 32 90

E-mail: p.a.govorukha@gmail.com

---

A. LAPIDUS, P. GOVORUKHA

## COMPLEX ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL EFFICIENCY INDICATOR DEVICE WALLING

*The formation of the complex efficiency index of the device walling as discrete values, allowing to demonstrate the objectivity of the chosen direction of the construction project is described in this paper. The study was executed to determine the volume of work performed on this scientific direction. The selection criteria of industrial-technological modules (ITM) are presented. These modules is variables in a functional relationship between the finite integral indicator of the effectiveness and direct construction and installation works. The necessity of determining the optimal number of experiments in the multivariate modeling of systems is shown here. It's presented the experimentation method to get the ITM importance and determine their "weight" characteristics which are necessary to construct a mathematical model. It's described the conceptual construction of a mathematical model for work with multi-factor system, which allows to generate organizational and technological potential of the device protecting designs of high-rise residential buildings.*

**Keywords:** *integrated capacity, integrated indicator of efficiency, production and process modules, building envelope.*

### BIBLIOGRAPHY

1. Bereznyj, A.Ju. Sistemotekhnika stroitel'stva kak teoreticheskaja osnova dlja ocenki obobshhennogo pokazatelja jekologicheskoj nagruzki pri vozvedenii stroitel'nogo ob#ekta [Tekst] / A.Ju. Bereznyj // Tehnicheskoe regulirovanie. Stroitel'stvo, proektirovanie i izyskanija. – M.: 2011. – №10 (11) – S. 50-52.

2. Gusakov, A.A. Sistemotekhnika stroitel'stva [Tekst] / A.A. Gusakov. – M.: ASV, 2004.

3. Lapidus, A.A. Potencial jeffektivnosti organizacionno-tehnologicheskijh reshenij stroitel'nogo ob#ekta [Tekst] / A.A. Lapidus // Vestnik MGSU. – 2014. – №1. – S. 175-180.

4. Demidov, L.P. Issledovanija po primeneniju metoda jekspertnyh ocenok pri analize potentsiala stroitel'noj ploshhadki [Tekst] / L.P. Demidov // Tehnologija i organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – M. – №1(6). – S. 62-64.

5. Lapidus, A.A. Matematicheskaja model' ocenki obobshhennogo pokazatelja jekologicheskoi nagruzki pri vozvedenii stroitel'nogo ob#ekta [Tekst] / A.A. Lapidus, A.Ju. Bereznyj // Vestnik MGSU. – 2012. – №3. – S. 149-153.
6. Lapidus, A.A. Organizacionno-tehnologicheskij potencial ograzhdajushhih konstrukcij mnogojetazhnyh zhi-lyh zdaniy [Tekst] / A.A. Lapidus, P.A. Govorukha // Vestnik MGSU. – 2015. – №4. – S. 143-149.
7. Margulin, V.M. Kvalimetriceskaja jekspertiza stroitel'nyh ob#ektov [Tekst] / V.M. Margulin, G.G. Azgal'dov. – SPb.: Politehnika, 2008. – 527 s.
8. Sajdaev, H.L. Sistema menedzhmenta kachestva kak neobhodimyj instrument razvitija stroitel'noj otrasli [Tekst] / H.L. Sajdaev // Tehnicheskoe regulirovanie. Stroitel'stvo, proektirovanie i izyskanija – M.: MGSU. – 2012. – №6. – S. 37-38.
9. Orlov, K.O. Kompleksnyj pokazatel' rezul'tativnosti proektov massovoj malojetazhnoj zastrojki pri ispol'zovanii razlichnyh sovremennyh tehnologij modul'nogo domostroenija [Tekst] / K.O. Orlov // Tehnologija i organizacija stroitel'nogo proizvodstva. – 2013. – №1. – S. 40-42.

**A. Lapidus**

Moscow state construction university, Moscow

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Technology and organization of construction production»

Ph.:+7 903 792 17 17

E-mail: lapidus58@mail.ru

**P. Govorukha**

Moscow state construction university, Moscow

Graduate student, assistant of the department «Technology and organization of construction production»

Ph.:+7 916 372 32 90

E-mail: p.a.govorukha@gmail.com

ПАСТУШКОВ П.П., ПАВЛЕНКО Н.В., КОРКИНА Е.В.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСЧЕТНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ ВЛАЖНОСТИ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Дано определение эксплуатационной влажности строительных материалов. Проведен анализ методик по определению эксплуатационной влажности и проблем, связанных с их использованием. Описана литература и нормативные документы по применению математических методов расчета влажностного режима. Проведены численные расчеты нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций в климатических условиях различных городов РФ с использованием основных типов эффективных утеплителей: минеральной ваты, формованного пенополистирола и экструдированного пенополистирола (XPS). Представлено сравнение полученных результатов численных расчетов с результатами натурных исследований. Получена хорошая сходимость результатов численных и натурных экспериментов. Описана зависимость теплопроводности от эксплуатационной влажности. Исследовано влияние влажностного состояния на показатели энергоэффективности теплоизоляционных материалов.*

**Ключевые слова:** эксплуатационная влажность, численные методы, влажностный режим, теплоизоляционные материалы, энергоэффективность.

Эксплуатационная влажность – это равновесное влагосодержание материала в ограждающей конструкции относительно воздействующих на нее влажностных факторов внутренней и наружной среды в условиях эксплуатации. Влагосодержание в материале становится равновесным после прохождения стадии строительства и следующей за ней послепостроечной стадии выхода влажностного режима конструкции на квазистационарный (практически неизменяемый на временном интервале одних суток, однако периодически изменяемый в течение года). Срок этого установления значительно колеблется и зависит от начальной (строительной или технологической) влажности материала, состава конструкции и климатических условий региона строительства [1].

Исторически основным способом определения эксплуатационной влажности являлись натурные исследования. Однако их результаты могут иметь большой разброс даже для одного типа конструкций при одних и тех же эксплуатационных условиях. Поэтому для получения среднего значения по каждому материалу (например, для таблицы расчетных теплотехнических показателей СНиП «Тепловая защита зданий») требуется большая статистическая подборка результатов исследований [2].

В настоящее время повторить всеобъемлющие натурные исследования, по результатам которых можно было бы актуализировать расчетные показатели влажности строительных материалов (либо же получить такие показатели для новых материалов), не представляется возможным, т.к. государственное финансирование научно-исследовательской деятельности в строительстве фактически не ведется, а так же отсутствует постоянная взаимосвязь между предприятиями строительной отрасли и отраслевыми НИИ, что было налажено в советское время. Поэтому использование численных методов расчета влажного режима ограждающих конструкций сейчас представляется более перспективным [3].

Наиболее точными являются нестационарные численные методы расчета, т.к. с их помощью можно моделировать процесс эксплуатации ограждающей конструкции с изменяющимися параметрами внутреннего и наружного воздуха. Такие методы расчета влажностного режима известны с 30-х годов XX века [4], а в 1984 году в НИИ строительной физики было выпущено руководство по применению таких расчетов [5]. Недавно лабораторией строительной теплофизики НИИСФ РААСН проведена актуализация данного метода и выпущен новый межгосударственный стандарт: ГОСТ 32494-2013 «Здания и сооружения. Метод математического моделирования температурно-влажностного режима ограждающих конструкций». Ре-

зультатам исследований влажностного режима по предложенной математической модели посвящена настоящая статья.

Были проведены расчеты нестационарного влажностного режима ограждающих конструкций в климатических условиях различных городов РФ с использованием полученных в лаборатории строительной теплофизики НИИСФ РААСН тепловлажностных характеристик ячеистых бетонов автоклавного твердения [1], а так же составов для отделки фасада. Исследованы стены из газобетона марки D400 с фасадными системами со скрепленной теплоизоляцией (СФТК) с использованием основных типов эффективных утеплителей: минеральной ваты, формованного пенополистирола (пенопласта) и экструдированного пенополистирола (XPS) с наружным тонким штукатурным слоем. При расчетах принималось, что температура и влажность в помещении остаются постоянными в течение года и равны: +20°C и 55%, соответственно. Температура и относительная влажность воздуха снаружи конструкции изменяется в соответствии с данным из СП 131.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-01-99\* «Строительная климатология».

По результатам расчетов температурно-влажностного режима рассмотренных вариантов конструкций [6] были вычислены значения эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов для климатических условий выбранных городов строительства. В таблице 1 представлены значения эксплуатационной влажности эффективных утеплителей после месяца наибольшего влагонакопления.

Таблица 1 – Эксплуатационная влажность в конце месяца наибольшего влагонакопления

Материал	Эксплуатационная влажность, $w_3$ , %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	0,79	0,87	0,80	1,11	0,53	0,75
Формованный пенополистирол (пенопласт)	2,59	2,62	3,58	4,49	2,30	1,82
Экструдированный пенополистирол (XPS)	0,32	0,35	0,24	0,28	0,23	0,38

Для проверки полученных значений эксплуатационной влажности теплоизоляционных материалов было проведено сравнение с результатами натуральных исследований (табл. 2).

Таблица 2 – Экспериментально определенные и расчетные значения эксплуатационной влажности

Город	Материал	Месяц	Эксплуатационная влажность, $w_3$ , %	
			Натурные исследования	Численный расчет
Санкт-Петербург	Минеральная вата	Июль	0,95	0,94
	Пенополистирол	Февраль	2,27	2,62
Новосибирск	Минеральная вата	Апрель	1,13	0,95
	Пенополистирол		3,13	3,25

Из приведенного сравнения видно, что расхождение между значениями эксплуатационной влажности, полученными в результате натуральных исследований и численных расчетов, не превышает 15%. По такой сходимости результатов можно сделать вывод об адекватности выбранной математической модели расчета нестационарного влажностного режима рассмотренных ограждающих конструкций.

Результаты численных расчетов температурно-влажностного режима ограждающих конструкций представляют, как отдельный интерес с точки зрения оптимизации состава конструкции [6], так и после расчета значений эксплуатационной влажности (табл. 1) могут быть использованы для вычисления показателей энергоэффективности теплоизоляционных материалов [7].

Расчетную теплопроводность для каждого материала можно приблизительно принять, исходя из назначаемых условий эксплуатации (А или Б), согласно приложения С

СП 50.13330.2012 «Актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий», либо же, зная значение эксплуатационной влажности, точно рассчитать по формуле [8]:

$$\lambda = \lambda_0 + \Delta\lambda \cdot w_3 = \lambda_0 \left( 1 + \frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} \cdot w_3 \right) = \lambda_0 (1 + \eta \cdot w_3), \quad (1)$$

где  $\lambda_0$  – теплопроводность материала в сухом состоянии, Вт/(м·°С);  $\Delta\lambda$  – приращение теплопроводности на 1% влажности, Вт/(м·°С·%);  $w_3$  – эксплуатационная влажность материала по массе, %;  $\eta$  – коэффициент теплотехнического качества\*, 1/%.

Экспериментально установлено, что значение коэффициента теплотехнического качества приблизительно постоянно для каждого вида материалов [9]. Согласно осредненным данным лабораторных исследований НИИСФ РААСН коэффициент теплотехнического качества для экструдированного пенополистирола (XPS) составляет 0,035 (1%); для минеральной ваты – 0,04 (1%); для формованного пенополистирола (пенопласта) – 0,03 (1%).

Таким образом, зная значение теплопроводности в сухом состоянии и подставляя рассчитанные значения эксплуатационной влажности, по формуле (1) можно вычислить на сколько увеличится теплопроводность теплоизоляционного материала (следовательно уменьшится критерий энергоэффективности [7]) в той или иной конструкции в зимний период в различных климатических условиях. Согласно значениям эксплуатационной влажности из таблицы 1 составлена таблица 3 со значениями приращений теплопроводности теплоизоляционных материалов (уменьшения их критерия энергоэффективности) в зимний период для различных вариантов конструкций при различных климатических условиях строительства.

Таблица 3 – Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности) в зимний период

Материал	Приращение теплопроводности (уменьшение критерия энергоэффективности), %					
	Москва	Санкт-Петербург	Екатеринбург	Новосибирск	Владивосток	Краснодар
Минеральная вата	3,16%	3,48%	3,20%	4,44%	2,12%	3,00%
Пенопласт	7,77%	7,86%	10,74%	13,45%	6,90%	5,46%
XPS	1,12%	1,23%	0,84%	0,98%	0,80%	1,33%

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пастушков, П.П. Расчетное определение эксплуатационной влажности автоклавного газобетона в различных климатических зонах строительства [Текст] / П.П. Пастушков, Г.И. Гринфельд, Н.В. Павленко и др. // Вестник МГСУ. – М.: МГСУ. – 2015. – №2. – С. 60-70.
2. Васильев, Б.Ф. Натурные исследования температурно-влажностного режима жилых зданий [Текст] / Б.Ф. Васильев. – М.: Гос. изд-во литературы по строительству и архитектуре, 1957. – 214 с.
3. Isaev S.A., Guvernuk S.V., Zubin M.A., Prigorodov Yu.S. Numerical and physical modeling of a low-velocity air flow in a channel with a circular vortex cell // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2000. В. 73. – №2. – P. 337.
4. Фокин, К.Ф. Расчет последовательного увлажнения материалов в наружных ограждениях [Текст] / К.Ф. Фокин. – М.-Л.: Стройиздат, 1941. – С. 2-18.
5. Руководство по расчету влажностного режима ограждающих конструкций зданий [Текст]. – М.: Стройиздат, 1984. – 168 с.
6. Пастушков, П.П. Отсутствие проблемы выпадения конденсата на внутренней поверхности стен со скрепленной теплоизоляцией [Текст] / П.П. Пастушков, К.И. Лушин, Н.В. Павленко // Жилищное строительство. – М., 2014. – №6. – С. 42-44.
7. Гагарин, В.Г. Количественная оценка энергоэффективности энергосберегающих мероприятий [Текст] / В.Г. Гагарин, П.П. Пастушков // Строительные материалы. – М., 2013. – №6. – С. 7-9.
8. Пастушков, П.П. Влияние влажностного режима ограждающих конструкций с наружными штукатурными слоями на энергоэффективность теплоизоляционных материалов: диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – М., 2013. – 169 с.

\* По определению д.т.н., проф. В.Г. Гагарина.

9. Гагарин, В.Г. Теория состояния и переноса влаги в строительных материалах и теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий: диссертация на соискание ученой степени доктора техн. наук. – М., 2000. – 396 с.

**Пастушков Павел Павлович**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Кандидат технических наук

Тел.: +7 926 384 25 28

E-mail: pavel-one@mail.ru

**Павленко Наталья Викторовна**

НИИ механики МГУ, г. Москва

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: +7 (495) 939-52-82

E-mail: 9103638838@mail.ru

**Коркина Елена Владимировна**

Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, г. Москва

Тел.: +7 903 278 77 47

E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

---

P. PASTUSHKOV, N. PAVLENKO, E. KORKINA

**THE USE OF A NOMINAL DEFINITION OPERATIONAL HUMIDITY INSULATION MATERIALS**

*The definition of operational humidity of building materials is given in this paper. The analysis of methods for determining moisture content and operational problems associated with their using is provided. The literature and regulations on the use of mathematical methods for calculating humidity conditions are described. Numerical calculations of unsteady moisture conditions walling in climatic conditions in different cities in Russia with the main types of effective insulation: mineral wool, expanded polystyrene molded and extruded polystyrene (XPS) were carried out. Presented results are compared with the results of numerical calculations of field studies. It is obtained a good convergence of results of numerical and natural experiments. The dependence of the thermal conductivity of the operational humidity was described. The effect of humidity on the state of energy efficiency heat-resistant materials was investigated.*

**Keywords:** operating humidity, numerical methods, moisture regime, insulation materials, energy efficiency.

**BIBLIOGRAPHY**

1. Pastushkov, P.P. Raschetnoe opredelenie jekspluatacionnoj vlazhnosti avtoklavного gazobетона v razlichnyh klimaticheskih zonah stroitel'stva [Tekst] / P.P. Pastushkov, G.I. Grinfel'd, N.V. Pavlenko i dr. // Vestnik MGSU. – М.: MGSU. – 2015. – №2. – S. 60-70.
2. Vasil'ev, B.F. Naturnye issledovaniya temperaturno-vlazhnostnogo rezhima zhilyh zdaniy [Tekst] / B.F. Vasil'ev. – М.: Gos. izd-vo literatury po stroitel'stvu i arhitekture, 1957. – 214 s.
3. Isaev S.A., Guvernuk S.V., Zubin M.A., Prigorodov Yu.S. Numerical and physical modeling of a lowvelocity air flow in a channel with a circular vortex cell // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. 2000. B. 73. – №2. – P. 337.
4. Fokin, K.F. Raschet posledovatel'nogo uvlazhneniya materialov v naruzhnyh ograzhdeniyah [Tekst] / K.F. Fokin. – М.-Л.: Strojizdat, 1941. – S. 2-18.
5. Rukovodstvo po raschetu vlazhnostnogo rezhima ograzhdajushhih konstrukcij zdaniy [Tekst]. – М.: Strojizdat, 1984. – 168 s.

6. Pastushkov, P.P. Otsutstvie problemy vypadenija kondensata na vnutrennej poverhnosti sten so skreplenoj teploizoljaciej [Tekst] / P.P. Pastushkov, K.I. Lushin, N.V. Pavlenko // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – M., 2014. – №6. – S. 42-44.

7. Gagarin, V.G. Kolichestvennaja ocenka jenergojeffektivnosti jenergosberegajushhih meroprijatij [Tekst] / V.G. Gagarin, P.P. Pastushkov // Stroitel'nye materialy. – M., 2013. – №6. – S. 7-9.

8. Pastushkov, P.P. Vlijanie vlazhnostnogo rezhima ograzhdajushhih konstrukcij s naruzhnymi shtukaturnymi slojami na jenergojeffektivnost' teploizoljacionnyh materialov: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni kand. tehn. nauk. – M., 2013. – 169 s.

9. Gagarin, V.G. Teorija sostojanija i perenosa vlagi v stroitel'nyh materialah i teplozashhitnye svojstva ograzhdajushhih konstrukcij zdaniij: dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora tehn. nauk. – M., 2000. – 396 s.

**P. Pastushkov**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow

Candidate of technical sciences

Ph.: +7 926 384 25 28

E-mail: pavel-one@mail.ru

**N. Pavlenko**

Institute of mechanics of Moscow state University, Moscow

Candidate of technical sciences, associate professor

Ph.: +7 (495) 939-52-82

E-mail: 9103638838@mail.ru

**E. Korkina**

Research institute of building physics of the Russian academy of architecture and construction sciences, Moscow

Ph.: +7 903 278 77 47

E-mail: elena.v.korkina@gmail.com

ПУПЫРЕВ Е.И.

## РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ СООРУЖЕНИЙ ОЧИСТКИ ВОДЫ

*При проектировании сооружений для очистки природных или сточных вод в современных условиях возникает необходимость выбора не только эффективной технологии, но и учета показателей энергоэффективности этих сооружений. Строительство эффективных сооружений для очистки природных и сточных вод связаны с уровнем жизни в конкретном регионе страны. На основании многолетнего опыта института МосводоканалНИИпроект в области проектирования сооружений для водоподготовки и очистки хозяйственно-бытовых и промышленных стоков выбраны 6 основных критериев для оценки эффективности и качества принятых проектных решений в расчете на 1 м<sup>3</sup> очищенной воды. В перечень критериев включены: удельные капитальные затраты на очистку воды, удельная площадь, занимаемая сооружениями, удельная установленная мощность оборудования, удельное ресурсо- и энергопотребление, удельная себестоимость произведенной воды, удельные эксплуатационные затраты.*

**Ключевые слова:** сооружения очистки воды, технология очистки воды, энергоэффективность, критерии оценки.

Содержательно энергоэффективность – это использование возможно меньшего количества энергии для обеспечения заданных показателей технологического процесса. Энергоэффективность очистных сооружений – это сложное и комплексное понятие. Потребление энергии в сооружениях очистки воды зависит от многих факторов, таких как заданные нормативы очистки воды, технология очистки, конструктивные решения. Конструктивные решения выражаются в объемных и площадных характеристиках сооружений, что прямым образом влияет на энергопотребление. К сожалению, проектирование сооружений не является строго формализованной процедурой, оно базируется на эвристических методах и инженерном опыте. В данной работе автор попытался обобщить доступный ему инженерный опыт и предложить эвристические оценки оптимальных сооружений очистки воды для питьевых нужд и очистки хозяйственно – бытовых сточных вод.

В инженерной практике применяются 6 основных критериев для оценки качества принятых проектных решений сооружений для очистки воды:

1. Удельные капитальные затраты на очистку воды, руб./м<sup>3</sup>.
2. Удельная площадь, занимаемая сооружениями, на единицу производительности, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>.
3. Удельная установленная мощность, кВт/м<sup>3</sup>.
4. Удельное энергопотребление, кВтч/м<sup>3</sup>.
5. Удельная себестоимость произведенной воды, руб./м<sup>3</sup>.
6. Удельные эксплуатационные затраты, руб./м<sup>3</sup>.

Значения первых трех критериев определяются в результате проектирования и зависят как от объективных данных, таких как качество исходной воды, местоположения сооружений, инфраструктуры и т.п., так и субъективных данных, таких как квалификация проектировщиков. Значения следующих трех критериев могут быть вычислены по первым трем и уточнены в процессе опытной эксплуатации. На эти значения влияют и субъективные факторы, такие как норма прибыли, квалификация персонала, покупательная способность населения и т.д. Такие критерии как удельная установленная мощность и удельное энергопотребление распространены на практике. До начала проектирования установленная мощность необходима для получения технических условий. В процессе проектирования она уточняется. Удельное энергопотребление, – важнейший показатель качества сооружений, оно, если объективно рассчитано, также показывает энергоэффективность сооружения. Поэтому в данной работе остановимся на анализе сооружений по очистке воды, оптимальным критериям удельной стоимости, удельной площади, удельного энергопотребления, либо удельной мощности.

Указанные критерии могут частично противоречить друг другу. Совсем не обязательно, что сооружения, которые будут потреблять мало электроэнергии, не обеспечат требуемое качество очистки воды, а сооружения, которые будут потреблять много электроэнергии, будут очень хорошо очищать воду. Рассматривать энергоэффективность в отрыве от объемных и площадных неверно, необходимо стремиться проектировать энергоэффективные сооружения с учетом площадных и стоимостных критериев, тогда результаты будут иметь практическое значение.

**Очистные сооружения природной воды для получения воды питьевого качества.**

В проектировании и строительстве очистных сооружений природной воды для получения питьевой воды (водопроводных станций) накоплен большой опыт. В России достаточно поверхностных водоисточников с хорошим качеством. Для таких источников хорошо подходит традиционная технология очистки природной воды (рис. 1).



Рисунок 1 – Традиционная технологическая схема очистки природной воды

В таблице 1 приведены стоимостные показатели сооружений станций водоподготовки производительностью 20 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (для населения 60-120 тыс. человек) и 35 тыс. м<sup>3</sup>/сут. (для населения 130-200 тыс. человек). Все стоимостные показатели приведены в ценах 2013 года.

Таблица 1 – Ориентировочные капитальные затраты на строительство систем водоподготовки производительностью 20 и 35 тыс. м<sup>3</sup>/сут.

Наименование	Производительность очистных сооружений					
	20 тыс. м <sup>3</sup> /сут.			35 тыс. м <sup>3</sup> /сут.		
	СМР*, тыс. руб.	Оборуд., тыс. руб.	ВСЕГО, тыс. руб.	СМР, тыс. руб.	Оборуд., тыс. руб.	ВСЕГО, тыс. руб.
Водозабор с насосной станцией I-го подъема	11 260	13 180	24 440	13 640	19 58	33 220
Блок очистных сооружений в составе: - смесители - тонкослойные отстойники - реагентное хозяйство	56 380	25 280	81 660	93 040	39 660	132 700
Система производства и дозирования гипохлорита натрия	8 800	13 200	22 000	15 120	22680	37 800
Сооружения оборота промывных вод	9 760	3 440	13 200	16 780	6 000	22 780
Сооружения обезвоживания осадка	4 760	7 120	11 880	8 200	12 300	20 500
Резервуары чистой воды	55 820	2 760	58 580	97 700	4 820	102 520
Насосная станция II-го подъема	8 700	16 300	25 000	10 600	24 460	35 060
Общеплощадочные работы: подготовка территории и инженерные коммуникации			39 220			63 960
ПИР			27 600			33 640
ИТОГО:	155 480	81 280	303 580	255 080	129 500	482 180

\*СМР – строительно-монтажные работы.

Для надежного водоснабжения больших городов применяются более сложные технологии, например, показанная на рисунке 2. Стоимость сооружений, построенных по технологии (рис. 2), оказывается существенно выше и может быть уже неприемлемой для небольшого города, поскольку вопросы строительства эффективных сооружений связаны с уровнем жизни в конкретном регионе, в городе. Современные проектные организации умеют выполнять проекты достаточно экономичных сооружений, но не обязательно, что эти сооружения будут работать эффективно с точки зрения потребления электроэнергии и реагентов, например, по общепринятой практике в Европе сейчас на подготовку 1 м<sup>3</sup> воды требуется примерно 0,2 кВт·ч, в то время как в России средняя величина потребления электричества на подготовку 1 м<sup>3</sup> воды составляет около до 1 кВт·ч, а в Москве эта цифра составляет 0,45 кВт·ч.

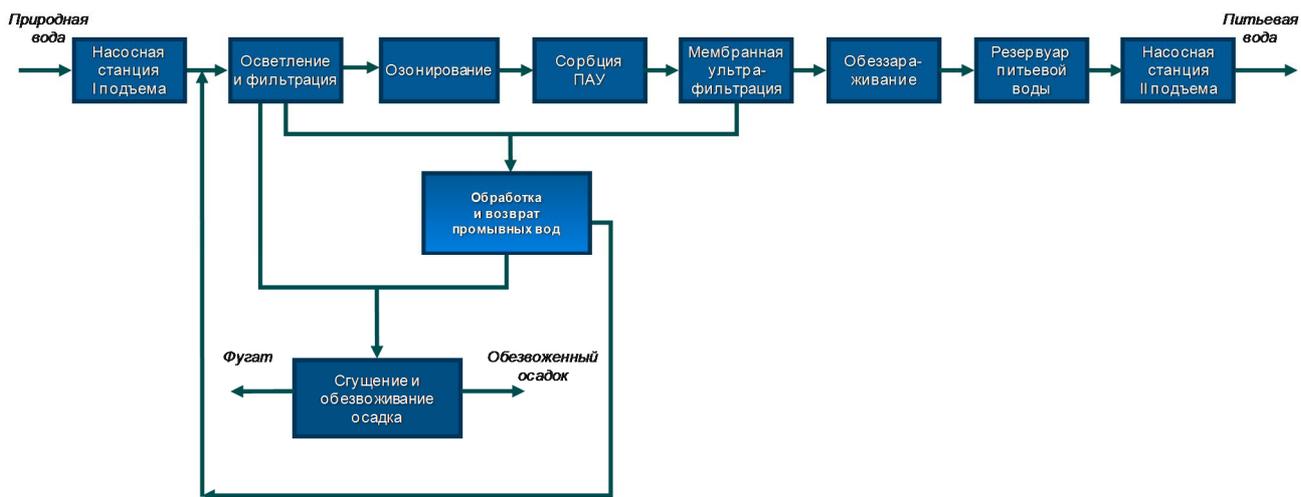


Рисунок 2 – Современная технологическая схема очистки природной воды



Рисунок 3 – Станция озонирования блока №1 Рублевской станции водоподготовки (в процессе строительства)

Удельные значения критериев эффективности водопроводных станций могут значительно отличаться для различных технологий. Например, в таблице 2 приведены удельные значения критериев для некоторых построенных водопроводных станций. Станции производительностью 20 и 35 тысяч куб. м в сутки построены по технологии, показанной на рисунке 1, а станции производительностью 100 и 250 тысяч куб. м. в сутки построены по технологии, показанной на рисунке 2.

Значения критериев рассчитаны на примере уже спроектированных сооружений и могут быть ориентиром при проектировании следующих водопроводных станций.

Таблица 2 – Значение критериев оценки некоторых водопроводных станций

Производительность водопроводной станции в сутки м <sup>3</sup>	Удельные капитальные затраты, руб./м <sup>3</sup>	Удельная площадь сооружений, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Удельная электрическая мощность кВт/м <sup>3</sup>
20 000	15 200	0.6	0,12
35 000	13 800	0.42	0,12
100 000	22500	0.3	0,09
250 000	20250	0.2	0,04

**Канализационные очистные сооружения.**

Канализационные очистные сооружения более сложны для проектирования, чем водопроводные, поскольку, канализационные стоки включают большое разнообразие ингредиентов, от которых необходимо очистить воду перед сбросом в водоем. И если хозяйственно-бытовые стоки более-менее изучены за последние 180 лет, то промышленные стоки обладают большим разнообразием.

На энергоэффективность очистных сооружений влияет не только состав поступающих стоков, но и неравномерность их поступления. Так, для хозяйственно-бытовых стоков, считается приемлемым коэффициент неравномерности 1,4 – в этом случае можно построить эффективное сооружение.

В настоящее время в России действуют жесткие нормы качества очищенных сточных вод. Как правило, это нормативы, которые применяются для воды водоемов рыбохозяйственного назначения, так называемый «рыбхоз». Достижение таких нормативов абсолютно не реально для страны с ее сегодняшним экономическим и технологическим состоянием. В то же время еще в Советском Союзе под эгидой харьковского института ВНИИВО разрабатывалось технологическое нормирование, когда нормы на очистку сточной воды привязывались:

- а) к географическому региону;
- б) к размеру поселения по количеству жителей;
- в) к характеристикам водного объекта.

В этих нормах были выделены сельские поселения, малые города и крупные города. Мы считаем, что подобное ранжирование поселений для технологического нормирования сейчас является наиболее правильным для России. Как показывает зарубежная практика (Германия, Дания), такой подход соответствует европейскому тренду.

На рисунке 4 представлена технологическая схема сооружений производительностью 5-15 тыс. м<sup>3</sup> вод в сутки для очистки сточных вод сельских поселений и поселков городского типа. Сооружения меньшей производительности для коттеджных поселков комплектуются в виде блоков. Они представлены на рынке, но обладают достаточно большим энергопотреблением.

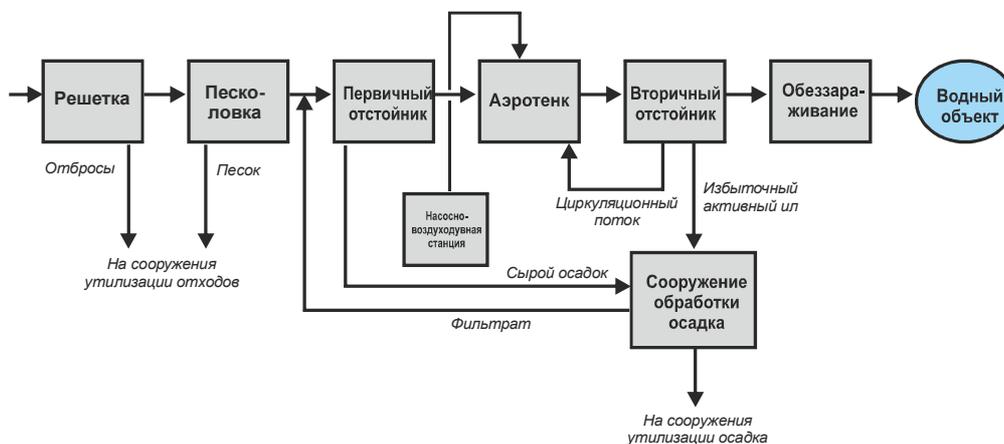


Рисунок 4 – Технологическая схема очистных сооружений канализации небольших поселений

На рисунке 5 показана более сложная технология, предполагающая в процессе биологической очистки удаление биогенных элементов (нитрификацию, денитрификацию). Это вызывает необходимость строительства многокоридорных аэротэнков, работа которых требует, соответственно, достаточно большого энергопотребления. Подобные сооружения рассчитаны на 80 тыс. м<sup>3</sup> в сутки. Примером таких сооружений могут служить станции очистки сточных вод в Южном Бутове (рис. 5) и в г. Зеленограде Московского региона.

Нитрификация, денитрификация, дефосфотация требуют большого расхода электроэнергии, а отладка этих процессов требует соответствующей квалификации. Поэтому не многие организации способны грамотно запроектировать и эксплуатировать такие сооружения, чтобы они действительно эффективно работали.

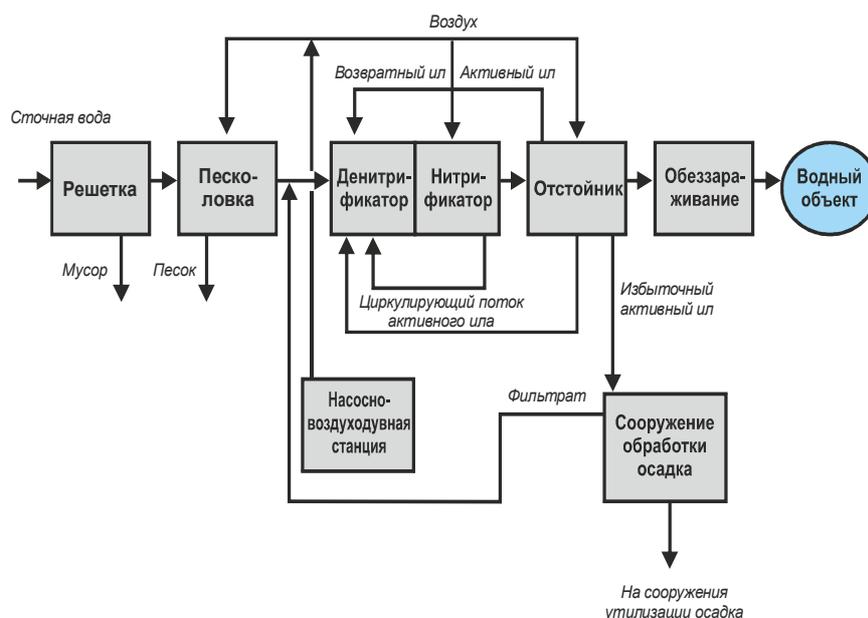


Рисунок 5 – Технологическая схема очистных сооружений канализации средних городов



Рисунок 6 – Очистные сооружения «Южное Бутово», производительность 80 тыс. м<sup>3</sup>/сутки

Самые сложные сооружения предназначены для больших городов (рис. 7). В схеме появляются блоки доочистки – это могут быть шведские дисковые фильтры, песчаные либо мембранные фильтры, МБР-реакторы (мембранные биореакторы). Они достаточно энергоемки. В качестве примера крупных сооружений на рисунках 8 и 9 показаны очистные сооружения сточных вод в Москве и Владивостоке.

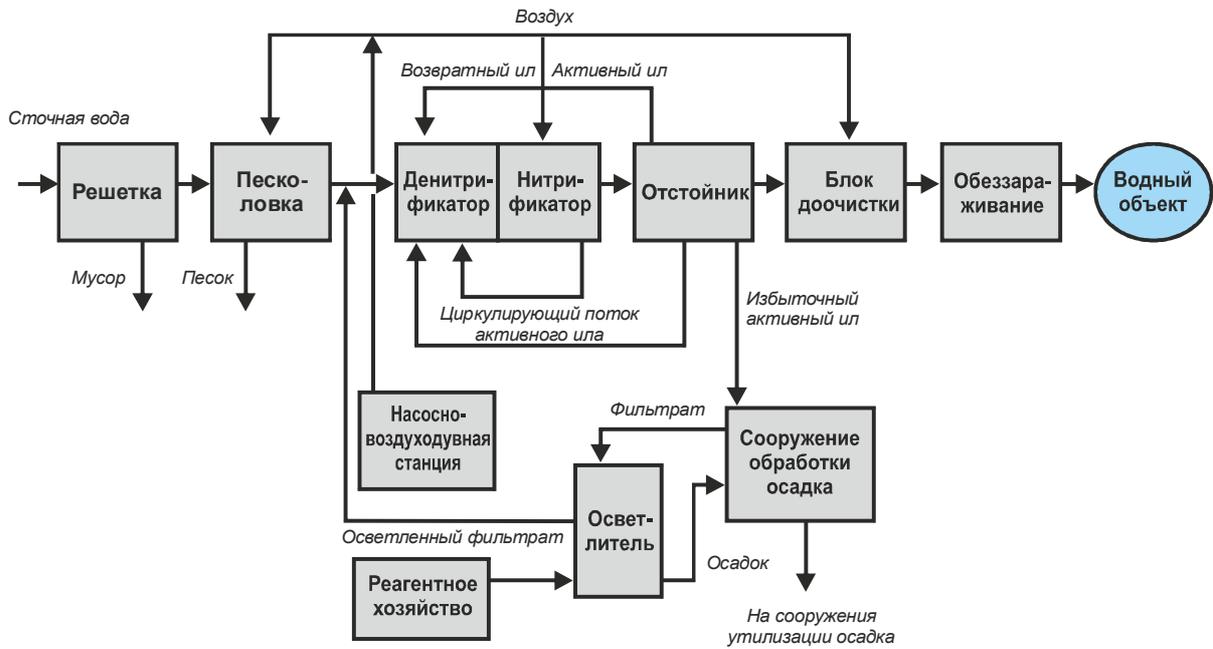


Рисунок 7 – Технологическая схема очистных сооружений канализации больших городов



Рисунок 8 – Городские очистные сооружения сточных вод в г. Владивостоке



Рисунок 9 – Аэротенки Люберецких очистных сооружений в Москве

На базе рассмотренных технологий предложим 8 основных типовых комплексов очистных сооружений:

1. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с полным окислением, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).
2. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с полным окислением, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).
3. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с полным окислением, вторичные радиальные отстойники, доочистка, блок обеззараживания (УФ).
4. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с нитрификацией-денитрификацией (НДФ), вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).
5. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, вторичные радиальные отстойники, блок обеззараживания (УФ).
6. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, вторичные радиальные отстойники, доочистка, блок обеззараживания (УФ).
7. Механическая очистка, первичные радиальные отстойники, аэротенки с НДФ, мембранный биореактор, блок обеззараживания (УФ).
8. Механическая очистка, первичные горизонтальные отстойники, аэротенки с НДФ, мембранный биореактор, блок обеззараживания (УФ).

Примером использования типовых конструкций могут служить четыре комплекса очистных сооружения, расположенных в крупных городах, данные по которым приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Общие характеристики некоторых очистных сооружений канализации (КОС)

Место расположения КОС	Производительность м <sup>3</sup> /сут.	Площадь га	Установленная мощность, кВт	Стоимость СМР тыс. руб. (2013 г.)
Владивосток	160 000	10	2600	3 463 265
Адлер	100 000	15	4066	4 214 940
ЭБКО Москва	200 000	4	3678	5 328 068
Иркутск, левый берег	255 000	10	5647	5 765 000

Таблица 4 – Значение критериев оценки некоторых КОС

Место расположения КОС	Удельные капитальные затраты, руб./м <sup>3</sup>	Удельная площадь сооружений, м <sup>2</sup> /м <sup>3</sup>	Удельная электрическая мощность, кВт/м <sup>3</sup>
Владивосток	21 645	0,62	0,016
Сочи (Адлер)	42 150	1,50	0,04
Иркутск, левый берег	22 607	0,39	0,02
ЭБКО Москва	26 640	0,20	0,018

Анализ представленных данных свидетельствует о том, что по удельной мощности (кВт/м<sup>3</sup>) наиболее неудачным является сооружение в Адлере, а наиболее удачное – ЭБКО (Москва) и сооружения во Владивостоке. При сравнении следует учитывать также сочетание энергозатрат и качества очистки. Так качество очистки сточных вод на сооружениях, расположенных по правому берегу Иркутска, одно из самых лучших в России.

Если рассмотреть площади отдельных блоков очистных сооружений (рис. 10), станет понятно, что наибольшую площадь занимают очистные сооружения канализации (ОСК), где

осуществляются процессы окисления органических соединений с процессами нитриденитрификации и удалением фосфатов (НДФ).

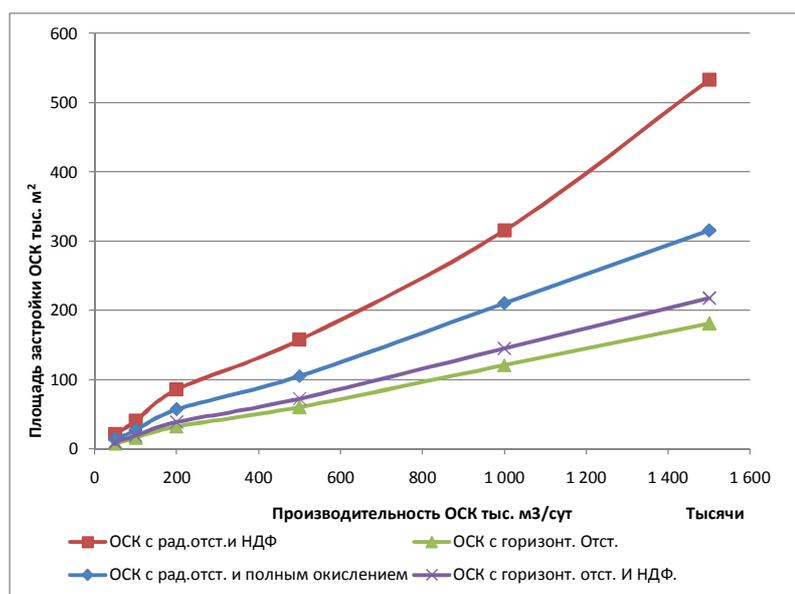


Рисунок 10 – Зависимость площади застройки от производительности и типа сооружений ОСК (при производительности от 50 000 до 1 500 000 м³/сут.)

Увеличение капитальных затрат на строительство ОСК происходит при усложнении технологии очистки (рис. 11). С увеличением производительности по линейной зависимости растут капитальные затраты на строительство ОСК, причем для небольших по производительности сооружений эта разница по стоимостным показателям незначительна.

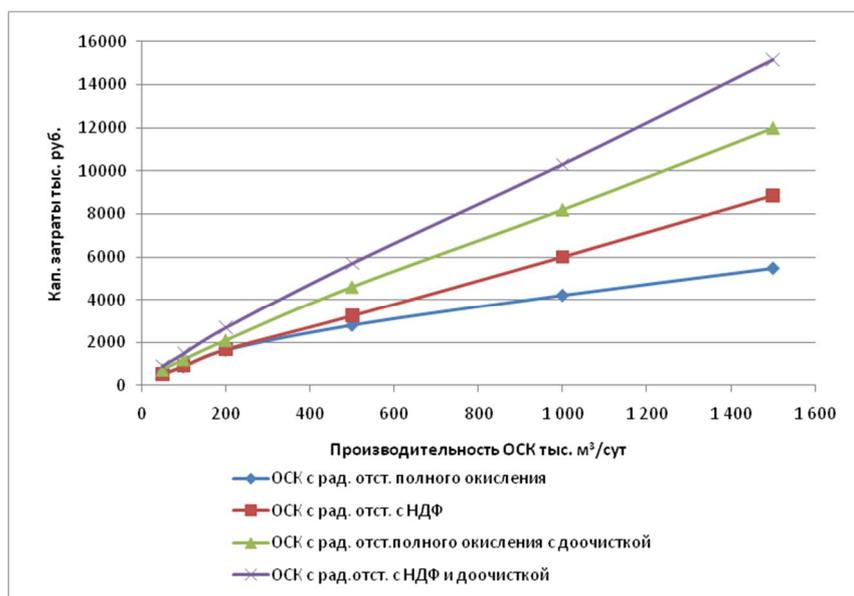


Рисунок 11 – Зависимость капитальных затрат от производительности различного типа ОСК (без обработки осадка) при производительности от 50000 до 1500000 м³/сут.

Наибольшее количество электроэнергии потребляют аэротенки. На них приходится 26% стоимости, 54% – площади застройки и 47% (по некоторым данным до 80%) – электроэнергии очистных сооружений (рис. 12). Таким образом, на аэротенки необходимо направлять наибольшее внимание как инженеров, так и ученых, потому что здесь находятся основные резервы по энергоэффективности всех очистных сооружений в целом.

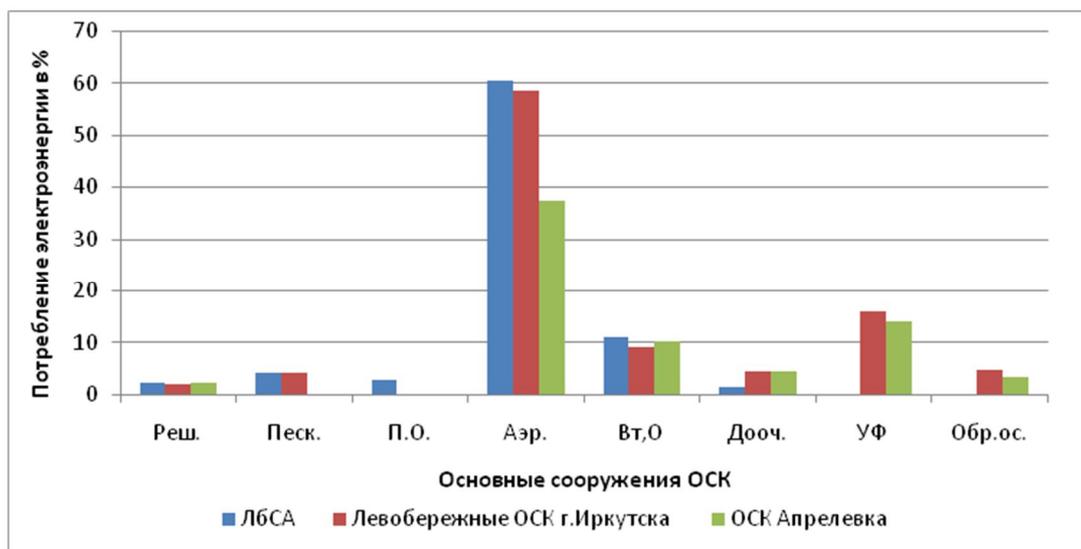


Рисунок 12 – Потребление электроэнергии по сооружениям ОСК (применимо к любой технологии биологической очистки)

Безусловно, необходимо обращать внимание и на объекты инфраструктуры очистных сооружений. И здесь, как показывает опыт, зачастую не всегда рационально проектируются генпланы сооружений – многие сооружения занимают большую площадь и объекты инфраструктуры, внутренние трубопроводы на площадке «съедают» очень много и электроэнергии, и денег. Большое значение имеет степень и уровень автоматизации технологических процессов, позволяющая получить значительную экономию – на треть по персоналу, работающему на станциях.

Отметим, что анализ значений указанных выше трех основных критериев от производительности станций очистки сточных вод, позволяет выяснить довольно любопытную зависимость: при производительности станций, начиная с 80 тыс. м<sup>3</sup> в сутки все характеристики более или менее выравниваются для сооружений по очистке хозяйственно – бытовых сточных вод. В частности, если технологии оказываются более эффективными по качеству очистки воды, то при этом они занимают больше площади. Для этого диапазона производительности параметры меняются линейно от производительности станции. Это говорит о том, что все параметры масштабируемы, т.е. можно до начала проектирования посмотреть аналог и простым масштабированием оценить, каковы будут в результате проектирования характеристики еще не построенной станции. Это принципиально важный вопрос для проектных организаций.

Что же касается станций малой производительности, то выделим два диапазона: первый – до 10-15 тыс. м<sup>3</sup>/сут. и второй – от 15-20 до 80 тыс. м<sup>3</sup>/сутк. Здесь прямой зависимости не наблюдается, потому что для малых станций характерным является большая неравномерность поступления объема стоков и их качества в течение суток. Несмотря на установку усреднителей на входе, энергоэффективность сооружений будет зависеть от необходимости включения в схему дополнительного оборудования. Также не наблюдается линейная зависимость значений параметров от производительности водопроводных станций.

В заключение отметим, что данная работа в значительной мере носит постановочный характер, исследования в этом направлении будут продолжены.

**Пупырев Евгений Иванович**

ОАО «МосводоканалНИИпроект», г. Москва

Доктор технических наук, профессор, генеральный директор

Тел.: +7 (499) 261-53-84; +7 (499) 261-77-75

E-mail: post@mvkniipr.ru

E. PUPYREV

## THE TASK OF DESIGNING ENERGY EFFICIENT BUILDINGS WATER TREATMENT

*For the design of environmental water or wastewater treatment facilities under the present-day conditions, it is necessary both to select the most efficient technology and to take into account the energy efficiency indices of these facilities. The construction of efficient environmental water and wastewater treatment facilities is connected with the living standards existing in a particular region of the country. Based on its multi-year experience in the field of the design of water, domestic wastewater and industrial wastewater treatment facilities, MosvodokanalNIIproject Institute selected six basic criteria for the assessment of the efficiency and quality of accepted design approaches on a per 1 m<sup>3</sup> of treated water basis. The list of criteria comprises the following: specific capital cost of water treatment, specific footprint area occupied by the facilities, specific installed capacity of equipment, specific consumption of resources, specific power consumption, specific production costs of water, and specific operating costs.*

**Keywords:** *water treatment facilities, water treatment technology, energy efficiency, assessment criteria.*

### **E. Pupyrev**

ОАО «МосводоканалНИИпроект», Moscow  
Doctor of technical sciences, professor, general director  
Ph.: +7 (499) 261-53-84; +7 (499) 261-77-75  
E-mail: post@mvkniipr.ru

ХАЛИМОВА Н.М., ВЕРЕЩАГИНА Е.А., БАБИЦКАЯ Е.А.

## ОСОБЕННОСТИ МОТИВАЦИИ К ТЕПЛОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ У НАСЕЛЕНИЯ В РЕГИОНАЛЬНОМ АСПЕКТЕ (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ ХАКАСИЯ)

*В статье представлен опыт работы двух кафедр ХГУ им. Н.Ф. Катанова по исследованию мотивации населения к теплоэнергосбережениям в Республике Хакасия. Сформулированы мотиваторы к теплоэнергосбережению у разных слоев населения, проживающего на территории Республики Хакасия; определены основные барьеры, стоящие на пути населения к теплоэнергосберегающей практике; разработаны рекомендации по данной проблеме.*

**Ключевые слова:** мотивация населения, исследование, теплоэнергосбережение, энергоэффективность, мониторинг, анкетирование, энергоресурсы.

Проблема теплоэнергосбережения является одной из наиболее актуальных проблем в мировой экономике. Под теплоэнергосбережением понимается комплекс мер по реализации экономических и иных мер, направленных на эффективное (рациональное) использование топливно – энергетических ресурсов и на вовлечение в хозяйственный оборот возобновляемых источников энергии (ФЗ №261).

Способы решения этих проблем в значительной мере будут определять место нашего общества в ряду развитых в экономическом отношении стран и уровень жизни российских граждан. За последние 30 лет мировому сообществу удалось добиться существенных успехов в данной области: энергоемкость мирового ВВП снизилась в два раза. Энергоемкость российской экономики снизилась более чем на треть, преимущественно за счет ускоренного развития неэнергоемких отраслей промышленности и сферы услуг.

Тем не менее, как отмечают эксперты, Россия продолжает оставаться одной из самых энергоемких экономик мира (энергоемкость российского ВВП в 2,3 раза выше среднемирового значения). Отчасти это объясняется суровыми природно-климатическими условиями России, а также сложившейся структурой национальной экономики с преобладанием энергоемких отраслей тяжелой промышленности и огромной протяженностью транспортных обслуживающих коммуникаций.

В стратегических документах инновационного развития Российской Федерации на долгосрочную перспективу технологии создания теплоэнергосберегающих систем отнесены к критическим технологиям.

По мнению профессора В.Я. Ушакова, д.т.н., директора Регионального центра ресурсосбережения, «энергосбережение до недавнего времени в России оставалось, преимущественно, побочным продуктом научно-технического прогресса, а именно, отсутствовал опыт реализации государственных программ и централизованного планирования в рыночных условиях; не было должной финансовой поддержки со стороны государства и жесткого спроса за исполнение. Поэтому трата основных средств шла не на реализацию мероприятий по повышению теплоэнергоэффективности, а на «латание дыр» старого теплоэнергетического оборудования» (Ушаков, 2012).

Барьеры, сдерживающие развитие теплосбережения и энергоэффективности в стране и в Республике Хакасия, аналитики разделяют на четыре основные группы: недостаток опыта финансирования проектов со стороны инвестиционных банков; недостаток информационного и мотивационного обеспечения подготовки и реализации решений по энергоэффективности и энергосбережению; недостаток организации и координации на всех уровнях принятия решений; недостаток мотивации, как бюджетными организациями, так и населением.

Достижение поставленных правительством целей возможно только при осознании разными слоями населения потенциала тепло и энергосбережения.

В Хакасском государственном университете им. Н.Ф. Катанова в рамках хоздоговорной темы кафедр педагогики и педагогической психологии проведено исследование мотивации населения Хакасии к теплоэнергосбережению. Основу эмпирической базы составили материалы проведенного социально-психологического исследования по Республике Хакасия преподавателями кафедр педагогики и педагогической психологии. На основе социологического инструментария (анкета, интервью) было проанализировано, насколько мотивировано население к энергосбережению и сформулированы мотиваторы энергосберегающего поведения к внедрению через образовательную практику.

Для формирования выборочной совокупности использовался метод гнездовой выборки, предполагающий в качестве единиц исследования не отдельных респондентов, а групп с последующим сплошным опросом. Выборка была сформирована стратометрическим способом в качестве страт выступали: пол, возраст, социальная роль, территориальное проживание (N1104 чел.); в исследовании использовались сравнительно-географические, эмпирические, а так же социологические методы исследования (анкетирование, интервьюирование).

В результате проведенного исследования был выявлен уровень мотивации к теплоэнергосбережению у населения, проживающего на территории Республики Хакасия. Были определены основные барьеры, стоящие на пути населения к теплоэнергосберегающей практике; составлены методические рекомендации для трех групп населения Республики Хакасия: управленческо – административного аппарата; студентов очной формы обучения; жителей республики.

Данные мониторинга свидетельствуют, что основная часть населения и студентов родились, выросли и проживают в настоящий момент в Республике Хакасия. Большая часть административно-управленческого персонала (83%) и (52%) населения Республики Хакасия пользуется централизованной системой отопления; индивидуальное отопление имеют 39% населения (35% населения Республики Хакасия имеют индивидуальное котельное отопление и 4% – печное) и 50% родителей студентов.

Респонденты отмечают, что достаточно материально обеспечены только 3% административно-управленческого аппарата, средне обеспечены – от 70 до 78% основная масса населения, студентов и административно-управленческого персонала республики.

Из анализа анкет следует, что большая часть респондентов считает, что установка счетчиков тепло- и водоснабжения является необходимым фактором экономии расходов теплоэнергоресурсов. Затруднились с ответом только 6% населения Республики Хакасия.

85% административно-управленческого персонала, 55% населения и 71% родителей студентов желают установить систему «Умный дом», с помощью которой будут производиться замеры таких параметров как: температура, качество воздуха, влажность, давление, освещенность, присутствие человека, отопление. Данная система позволяет экономить электроэнергию и природные ресурсы, хотя при этом возрастут услуги ЖКХ.

70% респондентов испытывают желание использовать «Технологии XXI века» (энергию ветра, солнца и др.), затруднения испытывали только респонденты, относящиеся к категории «население Республики Хакасия» (19%), что, видимо, связано с недостатком информации по данным технологиям.

Большинство респондентов (96%-административно-управленческого персонала, 54% населения, 53% студентов) ощущают «чувство вины» в результате обнаруженных фактов энергорасточительства (не выключенный свет после ухода из помещения). Необходимо отметить, что некоторые респонденты раньше о подобных вариантах неэффективного использования энергоресурсов не задумывались. Респонденты наиболее эффективными методами органов власти в отношении политики теплоэнергоэффективности считают:

- проведение среди учащихся общеобразовательных учреждений занятий по основам энергосбережения, позволяющих формировать мировоззрение, ориентированное на рачительное использование энергии с детского возраста;

- предоставление в простых и доступных формах информации о способах энергосбережения в быту, преимуществах энергосберегающих технологий и оборудования, особенностях их выбора и эксплуатации;

- организация пропаганды энергосбережения (социальная реклама) для эффективного воздействия на жителей;
- вовлечение в процесс энергосбережения всех социальных слоев населения, общественных организаций, управляющих компаний и товариществ собственников жилья.

Респонденты осведомлены о политике теплоэнергоэффективности, осуществляемой органами власти, и осознают факторы, мешающие реализации политики теплоэнергоэффективности. Наиболее существенным фактором является «отсутствие культуры бытового потребления энергоресурсов».

Основными барьерами, препятствующими реализации теплоэнергосберегающей практики в Хакасии, выступают следующие:

- а) недостаток связи в сознании людей между личным потреблением и его воздействием на окружающую среду;
  - б) недостаток информации об энергосбережении посредством представления сравнительной информации о своем и соседском энергопотреблении;
  - в) устоявшиеся жизненные стили, несущие за собой социальные и экологические издержки;
  - г) необходимость проведение дополнительных исследований в области «потребительства» для выявления его влияния на окружающую среду;
  - д) отсутствие жестких стандартов со стороны государства для выпускаемых и продаваемых энергопотребляющих приборов;
  - е) боязнь того, что поведение не будет социально одобрено и разделено другими и, таким образом, не достигнет эффекта на общем фоне бездействия;
  - ж) маловероятности того, что проблема коснется каждого лично.
- з) граждане Хакасии верят в то, что теплоэнергосбережение является проблемой, но не чувствуют ее безотлагательность по сравнению с остальными социальными проблемами, что может быть связано с отсутствием четкой и ясной информации по проблеме и также отражает общепринятое восприятие.
- и) на сегодняшний день образование в области теплоэнергосбережения не является включенным в основную образовательную программу основной и высшей школ Хакасии; оно либо игнорируется, либо рассматривается как дополнение, факультативное к основным образовательным программам.

Таким образом, необходимо мотивировать у молодежи и всего населения Республики целостное представление о теплоэнергосбережении, как единой системе процессов рационального расходования ресурсов; раскрыть суть государственной политики в области энергосбережения и экологии; содействовать формированию культуры использования тепло и энергоносителей.

Энергосбережение должно стать образом мышления и сознания, принципом жизни каждого человека.

Необходимо вовлекать студентов технических вузов в сферу инноваций и передовых решений в области энергосбережения и энергоэффективности; создавать среду для общения и обмена опытом участников инновационного и научно-исследовательского процессов; активизировать научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов вузов; выявлять инновационные, организационные, технологические разработки в области энергоэффективности и энергосбережения; развивать творческую деятельность студентов и аспирантов по созданию интеллектуальной собственности. Такой подход позволит представить большой спектр предложений в области теплоэнергоэффективности, а также обеспечит внедрение предложенных решений в реальную практику.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Киотская Конвенция Организации Объединенных наций об изменении климата [Текст], принятая 11 декабря 1997 г.
2. Национальный стандарт РФ ГОСТ 52106-2003 «Ресурсосбережение. Общие положения» [Текст].

3. Постановление Правительства РФ №67 от 20 февраля 2010 г. «О внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации по вопросам определения полномочий федеральных органов исполнительной власти в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности» [Текст].
4. Распоряжение Правительства РФ от 01.12.2009 г. №1830-р «Об утверждении плана мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности в Российской Федерации» [Текст].
5. Федеральный Закон от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» [Текст] // Российская газета, 27 ноября 2009 г.
6. Долгосрочная республиканская целевая программа «Энергосбережение и повышение энергоэффективности в Республике Хакасия на 2013 -2015 годы и на перспективу до 2020 года» [Текст], утвержденная постановлением Правительства Республики Хакасия от 03.10.2012 №663.
7. Багратуни, К.Ю. Мотивационные механизмы федеративной модели управления территориальным развитием макроэкономической системы России [Текст] / К.Ю. Багратуни. – Ростов н/Д.: СКНЦ ВШ, 2004. – С. 83-84.
8. Балыхина, Г.А. Энергосбережение в системе образования [Текст] / Г.А. Балыхина // Сборник научно-практических и методических материалов. – М.: «Амипресс», 2000.
9. Бобылев, С.Н. Зеленая экономика: перспективы для России [Текст] / С.Н. Бобылев // Экология: экономика, политика, право. – 2011. – №6. – С. 39-41.
10. Виллюсов, В.К. Психологические механизмы биологической мотивации [Текст] / В.К. Виллюсов. – М., 1986, – 208 с.
11. Гоник, И.Л. Формирование инновационной системы подготовки инженерных кадров в России: проблемы и противоречия [Текст] / И.Л. Гоник, Е.Г. Гущина // Вестник высшей школы = Alma mater. – 2008. – №4. – С. 20-25.
12. Гущина, Е.Г. Модель формирования потребительской культуры в системе образования [Текст] / Е.Г. Гущина, В.В. Шиховец // Wykstalcenie i nauka bez granic `2005: mater. II Miedzynar. nauk.-prakt. konf., 19-27 grudnia 2005 г. Т. 19. Psychologia i socjologia. – Przemysl; Praha, 2005. – С. 17-20.
13. Гущина Е.Г., Бадрак Н.Ю. Мотивация энергосбережения: проблемы формирования и опыт внедрения [Текст]. Режим доступа: [www.science-education.ru](http://www.science-education.ru).
14. Имамугдинов, И. Жесткое правоприменение законов физики [Текст] / И. Имамугдинов // Эксперт. – 2011. – №32. – С. 51-52.
15. Конференция в Рио-де-Жанейро – возможность заложить основу новой модели зеленого экономического развития [Текст] / Центр новостей ООН, 2012. – URL: <http://www.un.org/> (дата обращения: 02.08.2012).
16. IV Невский международный экологический конгресс «Инновационные механизмы развития социально-экологической сферы» [Текст], 16-17 мая 2011 г. // Экология и жизнь. – 2011. – №7. – С. 7.
17. Леонтьев, А.Н. Деятельность. Сознание. Личность [Текст] / А.Н. Леонтьев. – М., Смысл, Академия, 2005. – 352 с.
18. Леонтьев, В.Г. Психологические механизмы мотивации [Текст] / А.Н. Леонтьев. – Новосибирск, 1992. – с. 49.
19. Маслоу, А. Г. Мотивация и личность [Текст] / А.Г. Маслоу. – СПб.: Евразия, 1999. – 478 с.
20. Попкова, Е.Г. Экономический рост в российских регионах: проблемы трансформации качества [Текст] / Е.Г. Попкова. – М.: КНОРУС, 2012. – С. 70.
21. Реймерс, Н.Ф. Теоремы экологии [Текст] / Н.Ф. Реймерс // Экология и жизнь. – 2011. – №5. – С.7-8.
22. Ушаков, В.Я. Основные факторы, затрудняющие реализацию концепции энергосбережения [Текст] / В.Я. Ушаков // Нормативно-правовое обеспечение энергосбережения и повышения энергетической эффективности. Режим доступа: [post@energsovet.ru](mailto:post@energsovet.ru).
23. Чаркова, М.Н. Мотивация как фактор когнитивного развития личности: монография [Текст] / М.Н. Чаркова. – Абакан, 2001. – 386 с.
24. Энергосовет [Текст]. Режим доступа: <http://www.energsovet.ru>.
25. Energy Education Inc. – сайт. – URL: <http://www.energyeducation.com>.
26. Rhode D. L. Environmental Values and Behaviors: Strategies To Encourage Public Support for Initiatives To Combat Global Warming Woods [электронный ресурс] // D.L. Rhode. Institute for the Environment, Stanford University, 2006. – URL: <http://woods.stanford.edu/> (дата обращения: 11.08.2012).
27. L. A.J. Lu. Home Energy Conservation and Efficiency in Florida // L. A.J. Lu, A. Opel. A Survey of Residents' Behaviors, Intentions, Perceived Barriers, and Perceived Benefits [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mailer.fsu.edu/> (дата обращения: 24.07.2012).
28. Lutzenhiser L. Marketing Household Energy Conservation: The Message and the Reality / New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures, 2002. pp. 49-66. The National Academies Press. – URL: <http://www.nap.edu>.
29. Stern P.C. Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior (National Research Council) [Электронный ресурс] // Journal of Social Issues. – 2000. – №3. – P. 407-424. – Режим доступа: <http://en.vedur.is/> (дата обращения: 02.08.2012).
30. Ramsey J. Perspectives on Environmental Education in the US [Электронный ресурс] / J. Ramsey, H.R. Yungerford. New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures, 2002. – P. 147-160. The National Academies Press. – URL: <http://www.nap.edu/> (дата обращения: 25.07.2012).

**Халимова Надежда Михайловна**

Хакасский государственный университет, г. Абакан  
Доктор педагогических наук, доцент  
Тел.: +7 906 192 79 03  
E-mail: nmhal@mail.ru

**Верещагина Елена Алексеевна**

Хакасский государственный университет, г. Абакан  
Кандидат социологических наук  
Тел.: +7 902 467 99 96  
E-mail: vereschaginaea@mail.ru

**Бабицкая Елена Алексеевна**

Хакасский государственный университет  
Старший преподаватель  
Тел.: +7 923 398 62 76  
E-mail: elenabubiz@mail.ru

N. HALIMOVA, E. VERETSCHAGINA, E. BABITSKAYA

**THE RESEARCH OF THE MOTIVATION OF THE POPULATION  
TOWARDS THE HEAT AND ENERGY ECONOMY**

*The experience of two chairs of the Khakas State University named after N.F. Katanov touching upon the research of the motivation of the population towards the heat and energy economy in the Republic of Khakasia is represented in the article. Some motivators due to the heat and energy economy among different sections of the inhabitants living in Khakasia were defined. The main barriers which prejudice the heat and energy economy practice of the population were determined. Some recommendations on this research problem were worked out.*

**Keywords:** *the motivation of the population, the research, the heat and energy economy, monitoring, the energy effectiveness, a questionnaire form, energy resources.*

**BIBLIOGRAPHY**

1. Kiotskaja Konvencija Organizacii Ob#edinennyh nacij ob izmenenii klimata [Tekst], prinjataja 11 dekabrja 1997 g.
2. Nacional'nyj standart RF GOST 52106-2003 «Resursosberezhenie. Obshhie polozhenija» [Tekst].
3. Postanovlenie Pravitel'stva RF №67 ot 20 fevralja 2010 g. «O vnesenii izmenenij v nekotorye akty Pravitel'stva Rossijskoj Federacii po voprosam opredelenija polnomochij federal'nyh organov ispolnitel'noj vlasti v oblasti jenergosberezhenija i povyshenija jenergeticheskoj jeffektivnosti» [Tekst].
4. Rasporjazhenie Pravitel'stva RF ot 01.12.2009 g. №1830-r «Ob utverzhenii plana meroprijatij po jenergosberezheniju i povysheniju jenergeticheskoj jeffektivnosti v Rossijskoj Federacii» [Tekst].
5. Federal'nyj Zakon ot 23 nojabrja 2009 g. №261-FZ «Ob jenergosberezhenii i o povyshenii jenergeticheskoj jeffektivnosti i o vnesenii izmenenij v otdel'nye zakonodatel'nye akty Rossijskoj Federacii» [Tekst] // Rossijskaja gazeta, 27 nojabrja 2009 g.
6. Dolgosrochnaja respublikanskaja celevaja programma «Jenergosberezhenie i povyshenie jenergojeffektivnosti v Respublike Hakasija na 2013 -2015 gody i na perspektivu do 2020 goda» [Tekst], utverzhdennaja postanovleniem Pravitel'stva Respubliki Hakasija ot 03.10.2012 №663.
7. Bagratuni, K.Ju. Motivacionnye mehanizmy federativnoj modeli upravlenija territorial'nym razvitiem makroekonomicheskoj sistemy Rossii [Tekst] / K.Ju. Bagratuni. – Rostov n/D.: SKNC VSh, 2004. – S. 83-84.
8. Balyhina, G.A. Jenergosberezhenie v sisteme obrazovanija [Tekst] / G.A. Balyhina // Sbornik nauchno-prakticheskikh i metodicheskikh materialov. – M.: «Amipress», 2000.
9. Bobylev, S.N. Zelenaja jekonomika: perspektivy dlja Rossii [Tekst] / S.N. Bobylev // Jekologija: jekonomika, politika, pravo. – 2011. – №.6. – S. 39-41.
10. Viljusov, V.K. Psihologicheskie mehanizmy biologicheskoi motivacii [Tekst] / V.K. Viljusov. – M., 1986, – 208 s.
11. Gonik, I.L. Formirovanie innovacionnoj sistemy podgotovki inzhenernyh kadrov v Rossii: problemy i protivorechija [Tekst] / I.L. Gonik, E.G. Gushhina // Vestnik vysshej shkoly = Alma mater. – 2008. – №4. – C. 20-25.

12. Gushhina, E.G. Model' formirovaniya potrebitel'skoj kul'tury v sisteme obrazovaniya [Tekst] / E.G. Gushhina, V.V. Shihovec // Wykstalcenie i nauka bez granic `2005: mater. II Miedzynar. nauk.-prakt. konf., 19-27 grudnia 2005 r. T. 19. Psychologia i socjologia. – Przemysl; Praha, 2005. – С. 17-20.
13. Gushhina E.G., Badrak N.Ju. Motivacija jenergosberezhenija: problemy formirovaniya i opyt vnedrenija [Tekst]. Rezhim dostupa: [www.science-education.ru](http://www.science-education.ru).
14. Imamutdinov, I. Zhestkoe pravoprimerenie zakonov fiziki [Tekst] / I. Imamutdinov // Jekspert. – 2011. – №32. – S. 51-52.
15. Konferencija v Rio-de-Zhanejro – vozmozhnost' zalozhit' osnovu novoj modeli zelenogo jekonomicheskogo razvitija [Tekst] / Centr novostej OON, 2012. – URL: <http://www.un.org/> (data obrashhenija: 02.08.2012).
16. IV Nevskij mezhdunarodnyj jekologicheskij kongress «Innovacionnye mehanizmy razvitija social'no-jekologicheskoy sfery» [Tekst], 16-17 maja 2011 g. // Jekologija i zhizn'. – 2011. – №7. – S. 7.
17. Leont'ev, A.N. Dejatel'nost'. Soznanie. Lichnost' [Tekst] / A.N. Leont'ev. – M., Smysl, Akademiya, 2005. – 352 s.
18. Leont'ev, V.G. Psihologicheskie mehanizmy motivacii [Tekst] / A.N. Leont'ev. – Novosibirsk, 1992. – s. 49.
19. Maslou, A. G. Motivacija i lichnost' [Tekst] / A.G. Maslou. – SPb.: Evrazija, 1999. – 478 s.
20. Popkova, E.G. Jekonomicheskij rost v rossijskih regionah: problemy transformacii kachestva [Tekst] / E.G. Popkova. – M.: KNORUS, 2012. – S. 70.
21. Rejmers, N.F. Teoremy jekologii [Tekst] / N.F. Rejmers // Jekologija i zhizn'. – 2011. – №5. – S.7-8.
22. Ushakov, V.Ja. Osnovnye faktory, zatrudnjajushhie realizaciju koncepcii jenergosberezhenija [Tekst] / V.Ja. Ushakov // Normativno-pravovoe obespechenie jenergosberezhenija i povyshenija jenergeticheskoy jeffektivnosti. Rezhim dostupa: [post@energsovet.ru](mailto:post@energsovet.ru).
23. Charkova, M.N. Motivacija kak faktor kognitivnogo razvitija lichnosti: monografija [Tekst] / M.N. Charkova. – Abakan, 2001. – 386 s.
24. Jenergosovet [Tekst]. Rezhim dostupa: <http://www.energsovet.ru>.
25. Energy Education Inc. – sajt. – URL: <http://www.energyeducation.com>.
26. Rhode D. L. Environmental Values and Behaviors: Strategies To Encourage Public Support for Initiatives To Combat Global Warming Woods [jelektronnyj resurs] // D.L. Rhode. Institute for the Environment, Stanford University, 2006. – URL: <http://woods.stanford.edu/> (data obrashhenija: 11.08.2012).
27. L. A.J. Lu. Home Energy Conservation and Efficiency in Florida // L. A.J. Lu, A. Opel. A Survey of Residents' Behaviors, Intentions, Perceived Barriers, and Perceived Benefits [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://mailer.fsu.edu/> (data obrashhenija: 24.07.2012).
28. Lutzenhiser L. Marketing Household Energy Conservation: The Message and the Reality / New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures, 2002. pp. 49-66. The National Academies Press. – URL: <http://www.nap.edu>.
29. Stern P.C. Toward a Coherent Theory of Environmentally Significant Behavior (National Research Council) [Jelektronnyj resurs] // Journal of Social Issues. – 2000. – №3. – P. 407-424. – Rezhim dostupa: <http://en.vedur.is/> (data obrashhenija: 02.08.2012).
30. Ramsey J. Perspectives on Environmental Education in the US [Jelektronnyj resurs] / J. Ramsey, H.R. Yungerford. New Tools for Environmental Protection: Education, Information, and Voluntary Measures, 2002. – P. 147-160. The National Academies Press. – URL: <http://www.nap.edu/> (data obrashhenija: 25.07.2012).

**N. Khalimova**

Khakass state university, Abakan  
Doctor of pedagogical sciences, associate professor  
Ph.:+7 906 192 79 03  
E-mail: [nmhal@mail.ru](mailto:nmhal@mail.ru)

**E. Vereshchagin**

Khakass state university, Abakan  
Candidate of sociological sciences  
Ph.:+7 902 467 99 96  
E-mail: [vereschaginaea@mail.ru](mailto:vereschaginaea@mail.ru)

**E. Babickaya**

Khakass state university  
Senior lecturer  
Ph.:+7 923 398 62 76  
E-mail: [elenabubiz@mail.ru](mailto:elenabubiz@mail.ru)

**Уважаемые авторы!**  
**Просим Вас ознакомиться с основными требованиями**  
**к оформлению научных статей**

- Представляемый материал должен быть **оригинальным, не опубликованным ранее** в других печатных изданиях.
- Объем материала, предлагаемого к публикации, измеряется страницами текста на листах **формата А4** и содержит от **4 до 9 страниц**; все страницы рукописи должны иметь сплошную нумерацию.
- Статья должна быть набрана шрифтом Times New Roman, размер 12 pt с одинарным интервалом, текст выравнивается по ширине; абзацный отступ – 1,25 см, правое поле – 2 см, левое поле – 2 см, поля внизу и сверху – 2 см.
- Статья предоставляется в **1 экземпляре** на бумажном носителе и в электронном виде (по электронной почте или на любом электронном носителе).
- В одном сборнике может быть опубликована только **одна статья одного автора**, включая соавторство.
- **Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.**
- Если статья возвращается автору на доработку, исправленный вариант следует прислать в редакцию повторно, приложив письмо с ответами на замечания рецензента. Доработанный вариант статьи рецензируется и рассматривается редакционной коллегией вновь. Датой представления материала считается дата поступления в редакцию окончательного варианта исправленной статьи.
- Аннотации всех публикуемых материалов, ключевые слова, информация об авторах, списки литературы будут находиться в свободном доступе на сайте соответствующего журнала и на сайте Российской научной электронной библиотеки – РУНЭБ (Российский индекс научного цитирования).

**В тексте статьи** не рекомендуется применять:

- обороты разговорной речи, техницизмы, профессионализмы;
- для одного и того же понятия различные научные термины, близкие по смыслу (синонимы), а также иностранные слова и термины при наличии равнозначных слов и терминов в русском языке;
- произвольные словообразования;
- сокращения слов, кроме установленных правилами русской орфографии, соответствующими стандартами.
- Сокращения и аббревиатуры должны расшифровываться по месту первого упоминания (вхождения) в тексте статьи.

**Обязательные элементы:**

- **заглавие (на русском и английском языке)** публикуемого материала должно быть точным и емким, слова, входящие в заглавие, должны быть ясными сами по себе, а не только в контексте; следует избегать сложных синтаксических конструкций, новых словообразований и терминов, а также слов узкопрофессионального и местного значения;
- **аннотация (на русском и английском языке)** описывает цели и задачи проведенного исследования, а также возможности его практического применения, указывает, что нового несет в себе материал; рекомендуемый средний объем – 500 печатных знаков;
- **ключевые слова (на русском и английском языке)** – это текстовые метки, по которым можно найти статью при поиске и определить предметную область текста; обычно их выбирают из текста публикуемого материала, достаточно 5-10 ключевых слов.
- **список литературы**, на которую автор ссылается в тексте статьи.

Право использования произведений предоставлено авторами на основании п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации.

**С полной версией требований к оформлению научных статей**  
**Вы можете ознакомиться на сайте [www.gu-unprk.ru](http://www.gu-unprk.ru)**

---

*Адрес учредителя журнала*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302020, г. Орел, ул. Наугорское шоссе, 29  
+7 (4862) 42-00-24  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: unpk@ostu.ru

*Адрес редакции*

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Государственный университет –  
учебно-научно-производственный комплекс»  
(ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»)  
302006, г. Орел, ул. Московская, 77.  
+7 (4862) 73-43-49  
www.gu-unpk.ru  
E-mail: str\_and\_rek@mail.ru

Материалы статей печатаются в авторской редакции

Право использования произведений предоставлено авторами на основании  
п. 2 ст. 1286 Четвертой части Гражданского Кодекса Российской Федерации

Технический редактор С.В. Солопов  
Компьютерная верстка С.В. Солопов  
Дизайн обложки И.И. Стрельникова

Подписано в печать 08.06.2015 г.  
Формат 70×108 1/16. Печ. л. 11,88.  
Тираж 400 экз.  
Заказ №  /15 2

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической  
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»  
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.