



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

№5 (55) 2014
(сентябрь-октябрь)

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.
Римшин 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», 2014

Содержание

Теория инженерных сооружений. Строительные конструкции

- Дашевский М.А., Мондрус В.Л., Шutowский С.Н., Калашникова Н.К.** Особенности устройства системы виброзащиты в существующем здании бывшей городской усадьбы XVIII-XIX вв., входящих в комплекс зданий ГМИИ им. А.С. Пушкина..... 3
- Дьяков А.И.** Численные экспериментальные исследования силового взаимодействия отдельно стоящих фундаментов с грунтовым основанием при малоциклических нагрузках..... 8
- Дьяков И.М.** Численные исследования живучести массивных подпорных стен с повреждениями в виде вывалов различного расположения..... 15
- Клюева Н.В., Малахов А.В., Горностаев С.И.** К оценке теплотехнической однородности конструкции L-образного несущего ригеля наружного стенового ограждения здания со смешанной конструктивной системой..... 23
- Корниенко С.В.** О применимости методики СП 50.13330.2012 к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги..... 29
- Любомирский Н.В., Родин С.В., Кореньков П.А., Абселямов Р.С.** Анализ опасности прогрессирующего обрушения монолитного железобетонного каркаса 19-тиэтажного жилого дома в г. Евпатория..... 38
- Синцов В.П., Митрофанов В.А.** Работа элементов транспортно-монтажной рамы для транспортировки палубы стальной платформы..... 47

Архитектура и градостроительство

- Дворецкий А.Т., Клевез К.Н.** Анализ влияния разных типов устройств остекленной веранды на тепловой баланс энергоэффективного дома..... 54
- Кобелева С.А.** Систематизация и выявление направлений качественной оценки потенциала энерго- и ресурсосбережения гражданских зданий..... 61
- Чебышев М.В.** Концепция вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла..... 67

Строительные материалы и технологии

- Булгаков А.Г., Емельянов С.Г., Паршин Д.Я.** Строительно-монтажный роботизированный комплекс для крупнопанельного домостроения..... 73
- Денисова Т.В.** Распределение концентрации солнечной энергии на приемниках концентрирующих систем..... 88
- Лукутцова Н.П., Карпилов Е.Г.** Энергоэффективный мелкозернистый бетон с комплексным микронаполнителем..... 94
- Полейко Н.Л., Леонович С.Н.** Об эффективном применении крупного заполнителя в бетоне..... 101
- Федоров С.С.** Система управления процессом теплоснабжения промышленных предприятий при зависимом присоединении к тепловым сетям..... 106
- Хрусталева Б.М., Покотилова В.В., Рутковский М.А.** Гелиосистемы теплоснабжения в жилищном строительстве в условиях климата Беларуси 111
- Шаленный В.Т., Капшук О.А.** Резервы снижения трудозатрат и стоимости монолитных конструкций за счет использования рациональных систем разборно-переставных опалубок..... 118

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.



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

№5 (55) 2014
(September-October)

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.

Kirichek 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:
ПИ № ФС77-47354 firm 03.04.11 r.

Index on the catalogue of the «Pressa Rossii»
86294

© State University ESPC, 2014

Contents

Theory of engineering structures. *Building units*

- Dashevsky M., Mondrus V., Shutovsky S., Kalashnikova N.** The features of vibration protection in existing buildings of XVIII-XIX century ex-mansion within the set of buildings of the state museum of fine arts named after A.S. Pushkin..... 3
- D'yakov A.** Numerical and experimental study of force interaction of separate foundations, ground base with loads multiclinic..... 8
- D'yakov I.** Numerical experiments the survivability of massive retaining walls in the presence of local lesions in the form of holes..... 15
- Klyueva N., Malakhov A., Gornostaev S.** To the assessment of heattechnical uniformity of the design of the I-shaped bearing crossbar of the external wall protection of the building with the mixed constructive system..... 23
- Korniyenko S.** About applicability of SP 50.13330.2012 method to calculation of a moisture conditions of enclosing structures with multi-zone moisture condensation..... 29
- Lyubomirsky N., Rodin S., Korenkov P., Abselyamov R.** Hazard analysis progressive collapse of monolithic reinforced concrete frame 19-storey residential building in the city of evpatoria..... 38
- Sintsov V., Mitrofanov V.** The work of elements of an assembling frame for transportation of steel deck platform..... 47

Architecture and town-planning

- Dvoretzky A., Klevets K.** Analysis of influence by different types of devices of glazed veranda on the heat balance of energy efficient homes..... 54
- Kobeleva S.** The systematization and identification of the directions of quality standard of the potential of energo- and resource-saving of civil buildings..... 61
- Chebyshev M.** The conception of a ventilated facade with foam glass insolation..... 67

Construction materials and technologies

- Bulgakov A., Emelianov S., Parshin D.** Construction and erection robotic complex for the large panel house-building..... 73
- Denisova T.** Distribution of solar energy concentration in receivers of concentrating systems..... 88
- Lukutcova N., Karpikov E.** Energy-efficient fine-grained concrete with complex microfiller..... 94
- Polejko D., Leonovich S.** The effective use of the coarse aggregate in concrete..... 101
- Fedorov S.** Control system of process of the heat supply of the industrial enterprises at dependent accession to thermal networks..... 106
- Khrustalev B., Pokotilov V., Rutkowski M.** Solar heating systems in residential construction in the climatic conditions of Belarus..... 111
- Shalenny V., Kapshuk O.** Reserves reduction expenditures of labor and cost for monolithic constructions at the expense of using rational systems dismountable formwork..... 118

УДК 624.041

ДАШЕВСКИЙ М.А., МОНДРУС В.Л.,
ШУТОВСКИЙ С.Н., КАЛАШНИКОВА Н.К.

**ОСОБЕННОСТИ УСТРОЙСТВА СИСТЕМЫ ВИБРОЗАЩИТЫ
В СУЩЕСТВУЮЩЕМ ЗДАНИИ БЫВШЕЙ ГОРОДСКОЙ
УСАДЬБЫ XVIII-XIX вв., ВХОДЯЩИХ В КОМПЛЕКС
ЗДАНИЙ ГМИИ ИМ. А.С. ПУШКИНА**

Основой метода виброзащиты является полное разделение виброизолируемого объекта горизонтальным виброизоляционным швом с последующим размещением в нем резинометаллических виброизоляторов и их напряжением гидравлическим домкратом. Виброизолированное в 2012 г. здание бывшей городской усадьбы 18-19 вв., входящее в комплекс зданий Государственного музея изобразительных искусств (ГМИИ) им. А.С. Пушкина, представляет собой одно-двухэтажное кирпичное здание с массивными кирпичными сводами, расположенными в подвальной части. Здание располагается в непосредственной близости от туннелей сразу двух действующих линий метрополитена. Достигнутая эффективность системы виброзащиты составляет: не менее 15,9 дБ в октавной полосе 16 Гц, не менее 29,5 дБ в октавной полосе 31,5 Гц, не менее 30,4 дБ в октавной полосе 63 Гц.

***Ключевые слова:** виброзащита, резинометаллические виброизоляторы, виброизоляционный шов под зданием, эффективность системы виброзащиты.*

Одним из современных методов виброзащиты зданий от техногенной вибрации, вызываемой, в первую очередь, движением поездов метрополитена неглубокого заложения, является предложенный М.А. Дашевским и успешно реализованный более чем в 30-ти домах в Москве метод, основанный на использовании отечественных резинометаллических виброизоляторов. Основой метода является полное разделение виброизолируемого строительного объекта горизонтальным виброизоляционным швом, с последующим размещением в нем резинометаллических виброизоляторов и их напряжением гидравлическим домкратом. Формирование виброизоляционного шва под зданием осуществляется в обычном случае (то есть при строительстве нового здания) в процессе выполнения основных строительно-монтажных работ. Далее после окончания работ по возведению несущих конструкций здания выполняется монтаж виброизоляторов в предварительно сформированные в процессе строительства ниши. В отличие от строительства здания сразу на резинометаллических виброизоляторах подобная схема позволяет осуществлять плавный подъем здания и обеспечивает гарантированную разность осадок отдельных элементов здания друг относительно друга.

Монтаж виброизоляторов в виброизоляционном шве осуществляется уже после завершения всех строительно-монтажных работ на объекте в период выполнения отделочных работ, когда в уровне виброизоляционного шва уже действует основная нагрузка от виброизолируемых конструкций здания.

Отдельной проблемой является виброзащита исторических зданий, памятников архитектуры, поскольку отрезка здания от фундамента и устройство проемов в виброшве представляет непростую задачу. Такая задача возникла при реставрации руинированного здания для музея личных коллекций ГМИИ им. А.С. Пушкина.

Виброизолированное в 2012 г. здание бывшей городской усадьбы XVIII-XIX вв., входящее в комплекс зданий ГМИИ им. А.С. Пушкина, представляет собой одно-двухэтажное кирпичное здание с массивными кирпичными сводами, расположенными в подвальной части. Здание располагается в непосредственной близости от туннелей сразу двух действующих линий метрополитена:

- Сокольнической линии метрополитена неглубокого заложения, глубина заложения по своду туннеля составляет всего 2-3 метра на участке между станциями «Кропоткинская» – «Библиотека им. Ленина» (расстояние от линии до здания 0-2 м);

- Серпуховско-Тимирязевской линии глубокого заложения (глубина заложения по своду составляет около 40 м).

Пространственная жесткость здания до реставрационных работ была нарушена деформациями. В процессе выполненных работ по реконструкции было осуществлено переаглубление отметки подошвы фундамента, в бутовых и кирпичных стенах под всеми конструкциями виброизолируемого строения был устроен железобетонный пояс с расположенными в нем нишами. На рисунках 1 и 2 приведены характерные разрезы реконструируемого здания с указанием уровня виброизоляционного шва.

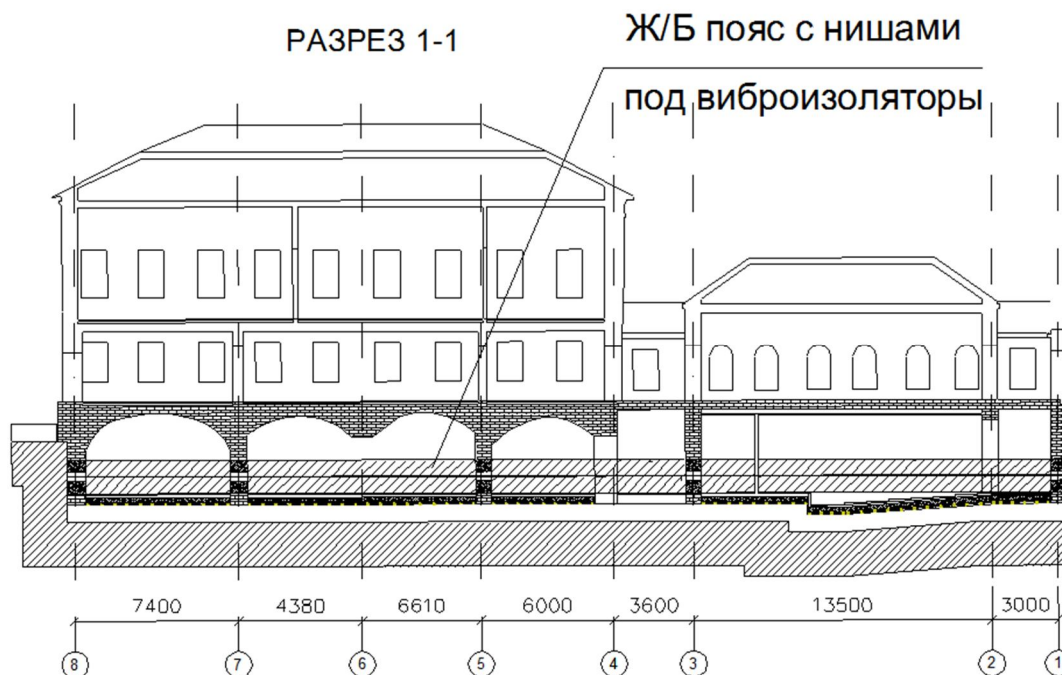


Рисунок 1 – Расположение виброизоляционного шва под зданием (продольный разрез)

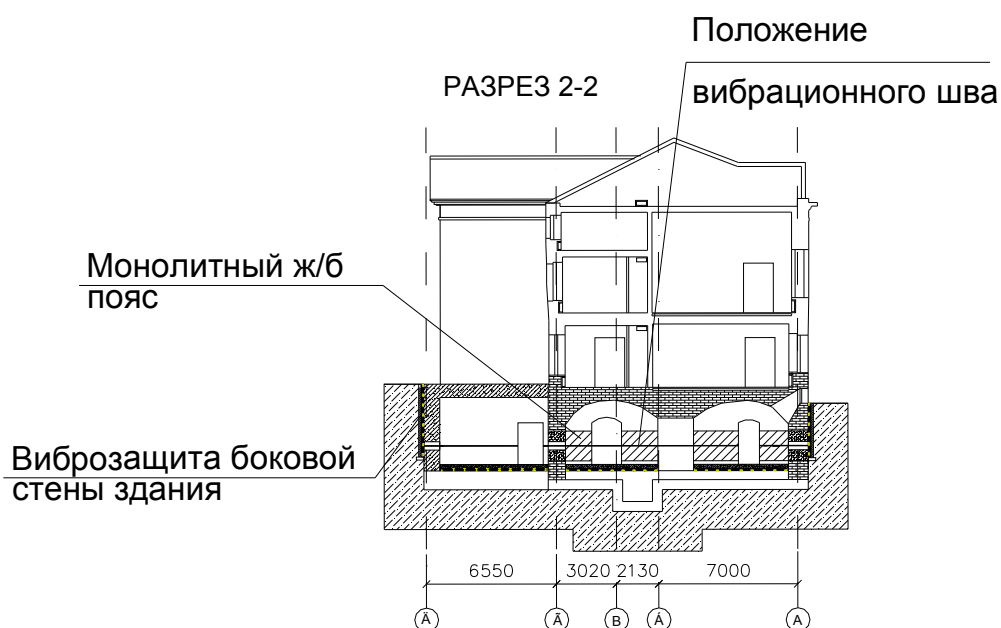


Рисунок 2 – Расположение виброизоляционного шва под зданием (поперечный разрез)

Особенностью выполненных виброзащитных работ является:

- необходимость полного разделения существующих конструкций массивных кирпичных сводов, расположенных в подвальной части здания;
- необходимость устройства существенной по высоте (2,5-4,5 м) защитной подпорной стенки, отделяющей уже виброизолированные конструкции здания от примыкающего грунта с заполнением промежутка между конструкцией подпорной стенки и зданием резиновыми виброизоляторами;
- размещение в подвальном этаже здания (ниже виброизоляционного шва) плавающих полов в местах расположения выставочных залов.

Подобная трехкомпонентная система виброзащиты позволяет виброизолировать не только наземные этажи здания, но и способствует формированию комфортной обстановки в подземных выставочных залах.

До выполнения виброзащитных работ в здании на площадке строительства в непосредственной близости от реставрируемого объекта была произведена серия натуральных измерений уровня вибрации, согласно которым прогнозируемый максимальный уровень вибрации в помещениях здания при движении поездов метрополитена может достигнуть уровня 88,9 дБ в октавной полосе 16 Гц, уровня 101,9 дБ в октавной полосе 31,5 Гц и уровня 111,4 дБ в октавной полосе 63 Гц. Таким образом, превышение максимально допустимого по санитарным нормам РФ для помещений общественных зданий уровня в 79 дБ в октаве 16 Гц составляет 9,9 дБ, превышение уровня в 85 дБ в октаве 31,5 Гц – 16,9 дБ, а превышение уровня в 91 дБ в октаве 63 Гц – 20,4 дБ.

Для осуществления виброзащитных мероприятий в здании использовались отечественные 4/5-тислоиные виброизоляторы отечественного производства с первой собственной частотой 4,63 Гц, что позволило значительно снизить уровни вибрации в реконструируемом объекте. Как показали натурные измерения вибрации, в здании уже после выполненной виброзащиты уровни вибрации значительно снизились. В подвальном этаже виброизолированного здания в точках, расположенных в непосредственной близости от туннеля метрополитена Серпуховско-Тимирязевской линии (расстояние 2-4 метра от туннеля), уровень вибрационного воздействия достигает значений, приведенных в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты измерений вибрации на подвальном этаже

Место проведение измерений	Средние уровни вибрации в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ		
	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
Предельно-допустимые значения вибрации в административных и общественных зданиях	79	85	91
Уровень подвала, точка на расстоянии 2-4 м от туннеля	73	87	81
Превышение ПДУ	-	до 2	-

В таблице 2 приводятся результаты измерений вибрации на втором этаже.

Таблица 2 – результаты измерений вибрации на втором этаже

Место проведение измерений	Средние уровни вибрации в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, дБ		
	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц
Предельно-допустимые значения вибрации в административных и общественных зданиях	79	85	91
Уровень 1-го этажа здания 6-7 м от туннеля	67	81	74
Превышение ПДУ	-	-	-

Как следует из табличных данных, максимальные превышения уровней вибрационного воздействия в виброизолированном здании (до 2 дБ в октавной полосе 31,5 Гц) наблюдаются в

подвальном этаже. Подобная ситуация связана в первую очередь с присутствием ряда «замыканий» между виброизолированными конструкциями здания и примыкающим к зданию грунтом, полная ликвидация которых была трудноосуществима в процессе работ по реконструкции объекта, особенно с учетом значительной (до 4,5 м) высоты защитной подпорной стенки. Помимо этого в настоящий момент к виброизолированным конструкциям примыкает часть строения, непосредственно размещенная на крышке туннеля метрополитена, реконструкция и виброзащита которой намечена на ближайшее время. Достигнутая эффективность системы виброзащиты составляет: не менее 15,9 дБ в октавной полосе 16 Гц, не менее 29,5 дБ в октавной полосе 31,5 Гц, не менее 30,4 дБ в октавной полосе 63 Гц.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санитарные нормы РФ. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий» [Текст].
2. Веретина, И.А. Методика оценки уровней структурного шума (применительно к метрополитену) [Текст] / И.А. Веретина, Н.К. Калашникова, С.А. Курнавин // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2003. – №6.
3. Дашевский, М.А. Прогноз свойств резиновых виброизоляторов на основе уточненных реологических моделей [Текст] / М.А. Дашевский, Е.М. Миронов, Г.А. Кублицкая // Труды ЦНИИСК. Динамика сооружений. – М., 1990.
4. Дашевский, М.А. Защита от транспортной вибрации [Текст] / М.А. Дашевский, Д.А. Глазков, В.В. Моторин // Журнал «Всотные здания». – М. – №5/08.
5. Дашевский, М.А. Виброзащита многоэтажных крупнопанельных зданий [Текст] / М.А. Дашевский, В.В. Моторин, Е.М. Миронов // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений (ССБС). – М. – 2001. – №4.
6. Дашевский, М.А. Инженерный метод нелинейного расчета резинометаллических виброизоляторов для зданий [Текст] / М.А. Дашевский // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – №3.

Дашевский Михаил Аронович

ООО «Вибросейсмозащита», г. Москва

Доктор технических наук, директор ООО «Вибросейсмозащита»

Тел.: +7 (495) 708-62-87

E-mail: michdash@mail.ru

Мондрус Владимир Львович

Московский государственный строительный университет, г. Москва

Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Строительная механика»

Тел.: +7 (495) 287-49-14

E-mail: mondrus@mail.ru

Шутовский Станислав Николаевич

ООО «Вибросейсмозащита», г. Москва

Ведущий инженер

Тел.: +7 (499) 784-78-91

E-mail: shutovskii@mail.ru

Калашникова Надежда Константиновна

ФБУЗ «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Москве», г. Москва

Эксперт-физик

Тел.: +7 (495) 682-81-88

E-mail: kala1943@rambler.ru

M. DASHEVSKY, V. MONDRUS, S. SHUTOVSKY, N. KALASHNIKOVA

THE FEATURES OF VIBRATION PROTECTION IN EXISTING BUILDINGS OF XVIII-XIX CENTURY EX-MANSION WITHIN THE SET OF BUILDINGS OF THE STATE MUSEUM OF FINE ARTS NAMED AFTER A.S. PUSHKIN

The basis of the method is the complete separation of building object being isolated from vibration by a horizontal anti-vibration joint, followed by placement in it rubber vibration dampers and by straining it with a hydraulic jack. The object been isolated from vibration in 2012 is a former city mansion built in 18-19 centuries. It is a part of the set of buildings of the State Museum of Fine Arts named after A.S. Pushkin. This is a one-storey brick building with massive brick vaults located in the basement part. The building is located in close proximity to the tunnels of the two existing operational subway lines. Efficiency attained by vibration protection system is not less than 15.9 dB at 16 Hz octave band, not less than 29.5 dB at 31.5 Hz octave band, not less than 30.4 dB at 63 Hz octave band.

Keywords: *vibration protection, rubber vibration dampers, anti-vibration joint under the building, the effectiveness of the system of vibration protection.*

BIBLIOGRAPHY

1. Sanitarnye normy RF. SN 2.2.4/2.1.8.566-96. «Proizvodstvennaja vibracija, vibracija v pomeshhenijah zhilyh i obshhestvennyh zdaniy» [Tekst].
2. Veretina, I.A. Metodika ocenki urovnej strukturnogo shuma (primenitel'no k metropolitenu) [Tekst] / I.A. Veretina, N.K. Kalashnikova, S.A. Kurnavin // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. – 2003. – №6.
3. Dashevskij, M.A. Prognoz svojstv rezinovyh vibroizoljatorov na osnove utochnennyh reologicheskikh modelej [Tekst] / M.A. Dashevskij, E.M. Mironov, G.A. Kublickaja // Trudy CNIISK. Dinamika sooruzhenij. – M., 1990.
4. Dashevskij, M.A. Zashhita ot transportnoj vibracii [Tekst] / M.A. Dashevskij, D.A. Glazkov, V.V. Motorin // Zhurnal «Vsootnye zdanija». – M. – №5/08.
5. Dashevskij, M.A. Vibrozashhita mnogoetazhnyh krupnopanel'nyh zdaniy [Tekst] / M.A. Dashevskij, V.V. Motorin, E.M. Mironov // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij (SSBS). – M. – 2001. – №4.
6. Dashevskij, M.A. Inzhenernyj metod nelinejnogo rascheta rezinometallicheskih vibroizoljatorov dlja zdaniy [Tekst] / M.A. Dashevskij // Sejsmostojkoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenij. – 2006. – №3.

M. Dashevsky

ООО «Вибросейсмозащита», Moscow
Doctor of technical sciences, director
Ph.: +7 (495) 708-62-87
E-mail: michdash@mail.ru

V. Mondrus

Moscow state construction university, Moscow
Doctor of technical sciences, head of the department «Structural mechanics»
Ph.: +7 (495) 287-49-14
E-mail: mondrus@mail.ru

S. Shutovsky

ООО «Вибросейсмозащита», Moscow
Senior engineer
Ph.: +7 (499) 784-78-91
E-mail: shutovskii@mail.ru

N. Kalashnikova

Center of hygiene and epidemiology in the city of Moscow, Moscow
Expert-physicist
Ph.: +7 (495) 682-81-88
E-mail: kala1943@rambler.ru

ДЬЯКОВ А.И.

ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СИЛОВОГО ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ОТДЕЛЬНО СТОЯЩИХ ФУНДАМЕНТОВ С ГРУНТОВЫМ ОСНОВАНИЕМ ПРИ МАЛОЦИКЛИЧНЫХ НАГРУЗКАХ

Определена методика и программный комплекс для проведения численного эксперимента по изучению работы отдельно стоящих фундаментов при малоциклических нагрузках. Рассмотрены и проанализированы результаты численного эксперимента работы отдельно стоящих фундаментов при малоциклических нагрузках. Выявлены основные особенности напряженно-деформированного состояния грунтового основания и фундамента, его изменения на различных стадиях загрузки и разгрузки.

Ключевые слова: *отдельно стоящие фундаменты, малоциклические нагрузки, эпюра контактных напряжений, система фундамент-грунт, касательные напряжения в грунте, главные сжимающие напряжения в грунте.*

Введение

Силовое взаимодействие фундаментов с грунтовым основанием при малоциклических нагружениях в настоящее время изучено не достаточно. Отдельные экспериментальные исследования [1] показали, что циклические загрузки приводят к снижению несущей способности фундаментов. Однако механизм этого снижения полностью не ясен.

В настоящее время существует значительное количество программных комплексов, позволяющих с достаточной степенью достоверности моделировать силовое взаимодействие конструкций с грунтовым основанием. В соответствии с этим, представляют интерес численные исследования взаимодействия фундаментов с грунтовым основанием при малоциклических загрузках, сопоставление результатов этих исследований с данными физического эксперимента. Такие исследования позволят выявить основные причины снижения прочности конструкций при циклических нагрузках и учесть их при разработке методики расчета конструкций.

Анализ публикаций

Численные исследования силового взаимодействия конструкций с грунтовым основанием осуществлялись такими учеными, как М.С. Чухлатый, В.Ф. Бай, С.А. Еренчинов, А.С. Городецкий, Н.С. Дюкина, А.А. Бакулина, В.А. Гришин и др. Моделирование производилось при помощи различных программных комплексов: ПК HOUSE D&T, Plaxis, ПК ANSYS, ПК «Динамика-2», «Динамика-3», ПК Liga. Авторами был проведен анализ результатов численных экспериментов, сопоставление их данных с результатами физических экспериментальных исследований, выявлены многие особенности реальной работой конструкций.

Несмотря на большое количество численных и натурных экспериментальных исследований силового взаимодействия фундаментов с грунтовым основанием, большинство из них были проведены при однократном нагружении конструкции статической или динамической нагрузкой. В тоже время численные исследования работы отдельно стоящих фундаментов при малоциклических нагружениях отсутствуют.

Цель и постановка задач

Цель статьи: проанализировать результаты численного эксперимента и выявить особенности силового взаимодействия отдельно стоящих фундаментов с грунтовым основанием при малоциклических нагружениях.

Задачи статьи:

– обосновать выбор программного комплекса и методики для проведения численного эксперимента;

– проанализировать результаты численного эксперимента работы отдельно стоящих фундаментов при малоциклических нагрузках и сопоставить их с результатами физического эксперимента;

– выявить особенности силового взаимодействия отдельно стоящих фундаментов с грунтовым основанием при малоциклических нагрузках

Методика исследований

Методы исследований: качественный и количественный анализ экспериментальных исследований, факторный и сравнительный анализ, метод аналогий и сравнений, графический метод, метод рационального планирования.

Результаты и их анализ

Анализ функциональных возможностей различных программных продуктов и результатов их применения для исследований работы системы «фундамент – грунт» позволили определить, что наиболее оптимальным программным комплексом для реализации поставленной задачи является Plaxis 3D. Главное преимущество данной программы заключается в том, что наряду с возможностью режимного ввода нагрузки, она позволяет на любом этапе загрузки выявить процессы, происходящие в грунтовой массе и конструкции. Благодаря этому численный эксперимент с циклическим изменением нагрузки реализуем в единой цепочке расчета.

Среди основных функциональных особенностей программы Plaxis 3D можно отметить: использование многоузловых объемных элементов для моделирования деформаций и напряжений в грунте; использование специальных плитных элементов для моделирования плитной части фундамента, поведение которых определяется упругими свойствами или нелинейно-упругими деформационными кривыми (диаграммами); возможность применения различных моделей поведения грунтового массива.

Параметры фундаментов, грунтового основания и режимы загрузки в численном эксперименте были выбраны аналогично проведенному ранее физическому эксперименту, что было необходимо для сопоставления их результатов. Размеры моделей фундамента в плане составляли 0,5×0,5 м с фрагментом колонны 0,1×0,1 м, толщина плитной части принимала значения 0,05, 0,75 и 0,1 м. В качестве грунтового основания использовался песок средней крупности. В численном эксперименте, как и в натурном, грунт основания был ограничен размерами грунтового лотка (2,2×2,2×2,2 м).

Численный эксперимент включал в себя следующие расчетные фазы:

- фаза 0 – загрузка фундамента гравитационной нагрузкой с последующим обнулением деформаций, вызванных этой нагрузкой;
- фазы 1, 3, 5...19 – снятие расчетной нагрузки с фундамента;
- фазы 2, 4, 6...18 – загрузка фундамента расчетной нагрузкой.

Исследования показали, что с увеличением количества предварительных нагружений глубина распространения напряжений в грунт основания снижается, а площадь распространения напряжений в плане увеличивается. При этом происходит накопление остаточных деформаций в грунте и фундаменте. Уменьшение глубины распространения напряжений, как правило, начинает проявляться со 2-3 цикла загрузки. Максимальные касательные напряжения в грунте с ростом количества предварительных нагружений имеют тенденцию к небольшому снижению. Так абсолютное значение касательных напряжений при первом нагружении фундамента Ф-7-7 составило 86,23 кН/м², а при последнем уменьшились до 83,57 кН/м² или на 3,2% (рис. 1). При этом максимальные величины касательных напряжений наблюдались под краевыми зонами фундамента.

Максимальное абсолютное значение касательных напряжений при первой фазе загрузки составило 28,44 кН/м². На последующих фазах разгрузки происходило увеличение остаточных касательных напряжений в грунте основания. На последней фазе разгрузки они составили 31,76 кН/м², что на 10% больше первоначальных значений (рис. 1).

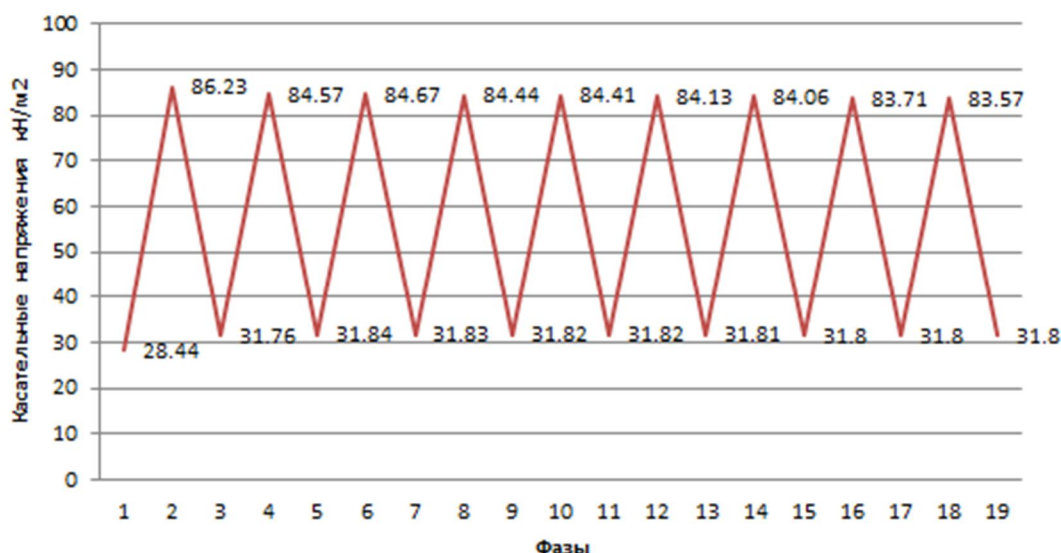


Рисунок 1 – Величина максимальных касательных напряжений на различных фазах загрузки-разгрузки фундамента Φ-7-7

Анализ вертикальных деформаций грунта показал, что при наличии предварительных нагружений происходит накопление остаточных деформаций под подошвой фундамента. При этом с каждым последующим нагружением общие вертикальные деформации грунта увеличиваются, а фазовые уменьшаются. Так абсолютное значение деформации грунта при испытании образца фундамента Φ-7-7 при первом нагружении составили $4,01 \times 10^{-3}$ м, а при двадцатом нагружении – $4,89 \times 10^{-3}$ м. Наличие предварительных нагружений способствовало образованию в центральной части лотка уплотненного ядра, в котором на стадии разгрузки были сосредоточены максимальные касательные напряжения.

Численные экспериментальные исследования показали, что максимальные величины главных сжимающих напряжений в грунте на стадиях загрузки уменьшаются с увеличением количества фаз загрузки. Для фундамента Φ-7-7 на первой фазе загрузки максимальное значение главных сжимающих напряжений составляли $53,37 \text{ кН/м}^2$, на последней (двадцатой) фазе загрузки – $51,38 \text{ кН/м}^2$. При этом снижение напряжений достигло 4% (рис. 2).

Такая же тенденция прослеживалась в изменении остаточных главных сжимающих напряжений в грунте на стадиях снятия нагрузки. С увеличением количества фаз разгрузок, их максимальные значения уменьшались. На первой фазе разгрузки значение максимальных остаточных главных сжимающих напряжений составило $28,74 \text{ кН/м}^2$, на последней – $28,54 \text{ кН/м}^2$. Уменьшение напряжений на 20 фазе достигло 0,1% (рис. 2).

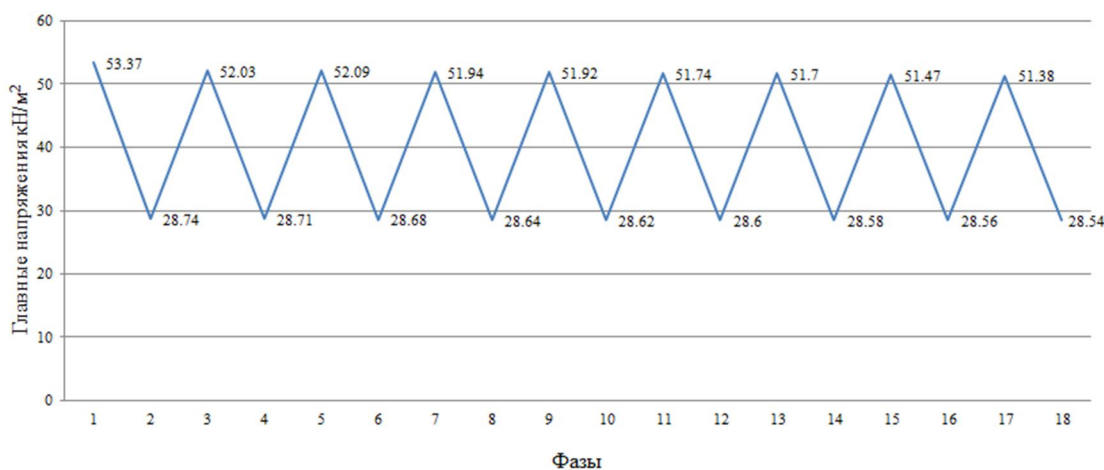


Рисунок 2 – Величина максимальных главных сжимающих напряжений в грунте на различных фазах загрузки-разгрузки фундамента Φ-7-7

Анализ изменения главных напряжений показал, что с увеличением количества предварительных нагружений максимальные главные напряжения концентрируются под углами подошвы фундамента, а под центральной частью фундамента рассеиваются. На стадии разгрузки максимальные главные напряжения концентрируются в центре лотка и его углах.

При анализе характера изменения нормальных вертикальных напряжений в грунте установлено, что на первом цикле нагружения максимальные вертикальные сжимающие напряжения распределяются в глубину грунтового основания, при этом у краевых участков значения вертикальных напряжений ниже, чем под центральной частью фундамента. На первой фазе нагружения глубина распространения напряжений в толщу грунта имеет максимальное значение.

На последующих фазах нагружения происходило перераспределение напряжений в грунтовом массиве. Под центральной частью фундамента глубина распространения напряжений уменьшалась, нормальные контактные напряжения более равномерно распределяются под подошвой фундамента. Под краевыми зонами фундамента образуются зоны с увеличившимися значениями вертикальных сжимающих напряжений и зоны с напряжениями, имеющими противоположный знак – зоны выпора грунта, значение напряжения в которых составляет не более 10 кН/м^2 .

На стадиях загрузки с увеличением количества циклов происходило снижение максимальных вертикальных сжимающих напряжений в грунте, носящее затухающий характер (рис. 3). На стадии разгрузки значения максимальных остаточных вертикальных сжимающих напряжений с увеличением количества циклов практически не изменялись.

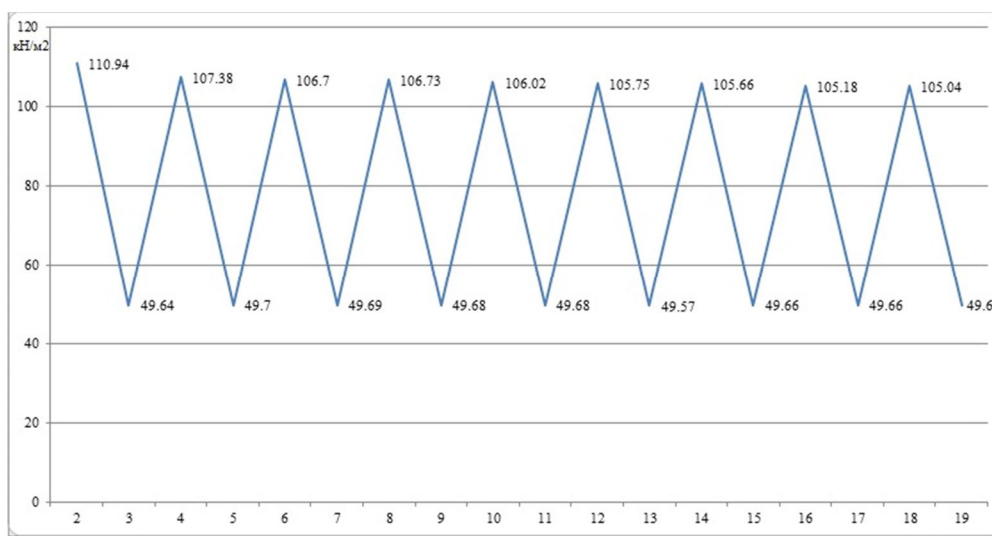


Рисунок 3 – График зависимости максимальных вертикальных сжимающих напряжений от количества циклов нагружения-разгрузки фундамента

Анализ эпюры изгибающих моментов в плитной части фундамента показал, что максимальный изгибающий момент при росте числа циклов нагружения увеличивался, а процесс увеличения носит затухающий характер (рис. 4). Так для фундамента Ф-7-7 увеличение на 20 фазе нагружения составило 1,6%. При этом значение максимального остаточного изгибающего момента в стадии разгрузки уменьшалось.

Для изучения изменения величины осадки фундамента в зависимости от количества предварительных нагружений было проведено сравнение опытных данных, полученных при численном и физическом эксперименте (рис. 5). При этом характеристики материалов, режим нагружения и уровень предельной нагрузки в обоих экспериментах приняты одинаковыми.

Анализ графика осадки фундамента, полученного при численном эксперименте, показал, что при наличии предварительных нагружений происходит постепенное увеличение суммарной осадки фундамента с каждым новым нагружением. При этом величина фазовой осадки с каждым последующим нагружением уменьшается, а график зависимости осадки фундамента от предварительных нагружений стремится к прямой. Аналогичные результаты были получе-

ны при изучении графика осадки фундамента, полученного при физическом эксперименте. При этом суммарная величина приращения осадки на двух графиках в пределах 10 предварительных нагружений не превышает 1 мм, а общая осадка фундамента к десятому нагружению достигает 5 мм.

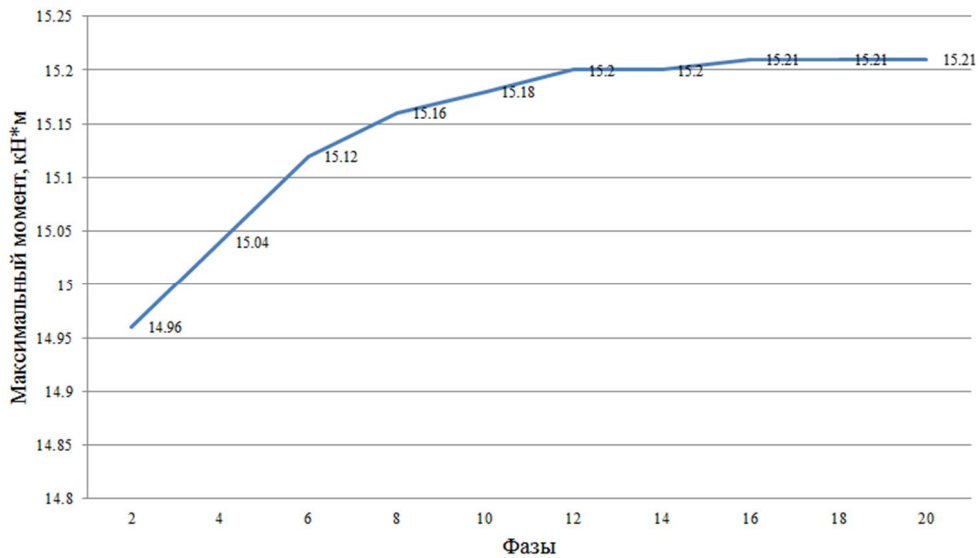


Рисунок 4 – График зависимости максимального изгибающего момента в плите фундамента от количества фаз загрузки

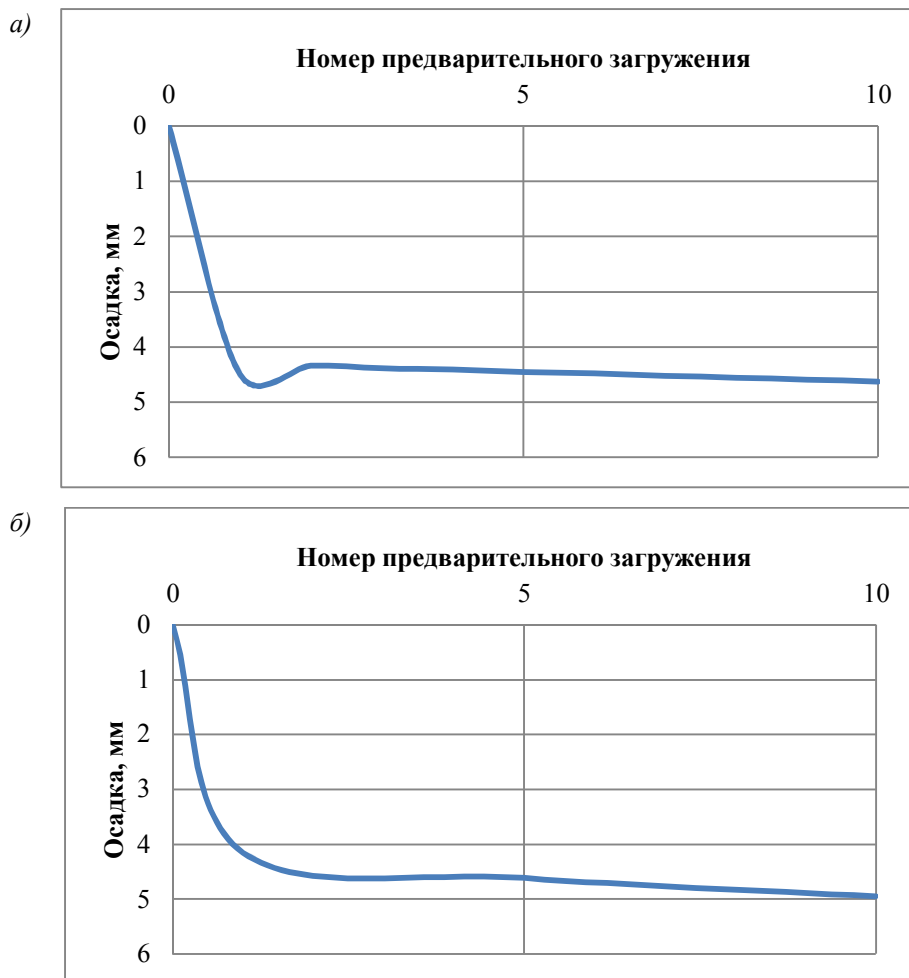


Рисунок 5 – График зависимости осадки фундамента от количества предварительных нагружений, полученный: а – при численном эксперименте; б – при физическом эксперименте

Выводы

Проведенный численный эксперимент позволил установить, что характер силового взаимодействия отдельно стоящих фундаментов и грунтового основания при малоцикловых нагружениях имеет отличия от работы фундаментов при однократном статическом нагружении.

Увеличение числа циклов на стадиях загрузки приводит к уменьшению:

- максимальных значений касательных напряжений;
- максимальных значений главных сжимающих напряжений в грунте;
- максимальных значений вертикальных, в том числе контактных напряжений.

Увеличение числа циклов на стадиях разгрузки приводит к увеличению:

- остаточных значений максимальных касательных напряжений в грунте;
- остаточных значений максимальных главных сжимающих напряжений в грунте.

Под центральной частью фундамента образуется зона уплотнения грунта, расширяющаяся с увеличением количества циклов нагрузки. Это приводит к изменению формы эпюры нормальных контактных напряжений с уменьшением ординат под центром фундамента и увеличением ординат в периферийной зоне.

Расчет отдельно стоящих фундаментов при малоцикловых нагружениях должен учитывать изменяющуюся эпюру нормальных контактных напряжений под подошвой фундамента. В соответствии с этим, расчет целесообразно производить в современных программных комплексах, основанных на методе конечных элементов, позволяющих учитывать историю загрузки конструкции.

Учитывая, что малоциклические нагрузки приводят к снижению прочности бетона плитной части фундамента из-за работы на выносливость, требуются дальнейшие исследования для выявления этого эффекта при силовом взаимодействии системы «фундамент-грунт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследования работы отдельно стоящих железобетонных фундаментов при циклических нагрузках с нестационарно изменяющейся интенсивностью. Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры [Текст] // Сб. науч. трудов. (По материалам Международной науч.-техн. конф. «Проблемы теории и практики строительных конструкций», 15-17 апреля 2013 г.). – Одесса: ОГАСА, 2013. – Вып. 49, Ч.2. – С. 95-101.
2. Чухлатый, М.С. Численное исследование напряженно-деформированного состояния системы «здание-фундамент-грунт» [Текст]: дисс. канд. техн. наук. – Тюмень, 2004.
3. Городецкий, А. С. Компьютерные модели конструкций [Текст] / А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. – К.: Факт, 2005. – 344 с.
4. Дюкина, Н.С. Численное моделирование взаимодействия заглубленных сооружений с грунтовым основанием при сейсмических воздействиях [Текст]: дисс. канд. техн. наук. – Нижний Новгород, 2009.

Дьяков Алексей Игоревич

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь

Аспирант кафедры железобетонных конструкций

Тел.: +7 978 741 43 86

E-mail: alexey3427@mail.ru

A. D'YAKOV

NUMERICAL AND EXPERIMENTAL STUDY OF FORCE INTERACTION OF SEPARATE FOUNDATIONS, GROUND BASE WITH LOADS MULTICLINIC

Developed a methodology and software system for conducting numerical experiments to study the work of separate bases at low cycle loads. Reviewed and analyzed the results of numerical experiments of the freestanding bases at low cycle loads. The basic features of the stress-strain state of the subgrade and foundation, it changes at different stages of loading and unloading.

Keywords: *stand-alone foundations, low cycle load, diagram of the contact stresses, system base-ground, shear stresses in the soil, principal compressive stresses in the soil.*

BIBLIOGRAPHY

1. Issledovanija raboty otdel'no stojashhix zhelezobetonnyh fundamentov pri ciklicheskih nagruzkah s nedinamicheski izmenjajushhejsja intensivnost'ju Vestnik Odesskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury [Tekst] // Sb. nauch. trudov. (Po materialam Mezhdunarodnoj nauch.-tehn. konf. «Problemy teorii i praktiki stroitel'nyh konstrukcij», 15-17 aprelja 2013 g.). – Odessa: OGASA, 2013. – Vyp. 49, Ch.2. – S. 95-101.
2. Chuhlatyj, M.S. Chislennoe issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija sistemy «zdanie-fundament-grunt» [Tekst]: diss. kand. tehn. nauk. – Tjumen', 2004.
3. Gorodeckij, A. S. Komp'juternye modeli konstrukcij [Tekst] / A.S. Gorodeckij, I.D. Evzerov. – K.: Fakt, 2005. – 344 s.
4. Djukina, N.S. Chislennoe modelirovaie vzaimodejstvija zaglublennyh sooruzhenij s gruntovym osnovaniem pri sejsmicheskix vozdejstvijah [Tekst]: diss. kand. tehn. nauk. – Nizhnij Novgorod, 2009.

A. D'jakov

National academy of environmental and resort construction, Simferopol
Postgraduate student of the department of concrete structures
Ph.: +7 978 741 43 86
E-mail: alexey3427@mail.ru

ДЬЯКОВ И.М.

ЧИСЛЕННЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЖИВУЧЕСТИ МАССИВНЫХ ПОДПОРНЫХ СТЕН С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ В ВИДЕ ВЫВАЛОВ РАЗЛИЧНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ

В статье рассмотрены результаты численных экспериментов по оценке живучести массивных подпорных стен при наличии локальных повреждений в виде вывалов. Описаны особенности расчетных моделей и методики проведения эксперимента. Дана оценка напряженно-деформированного состояния массивных подпорных стен и грунтового массива при возникновении и развитии вывалов различного расположения. Выявлены возможные направления развития вывалов в зависимости от их положения.

Ключевые слова: живучесть, локальные повреждения, вывалы, стойкость к прогрессирующему разрушению, программный комплекс Plaxis, массивная подпорная стена.

Изучение аварий массивных подпорных стен позволило установить, что в большинстве случаев процесс их разрушения отличается от общепринятого представления, предполагающего единовременное опрокидывание или сдвиг всего сооружения. Для подпорных стен характерно прогрессирующее разрушение, спровоцированное локальными повреждениями сооружения либо основания, воздействием запредельных нагрузок со стороны удерживаемого грунта [1]. Одной из возможных причин прогрессирующего разрушения массивных подпорных стен из бутобетона и каменной кладки является образование вывалов и участков местной потери устойчивости [2].

Исследования влияния вывалов на напряженно-деформированное состояние подпорных стен и грунтового массива, их роли в прогрессирующем разрушении сооружения, а также изучение факторов, определяющих живучесть системы «подпорная стена – грунт» при возникновении вывалов не проводились. Вместе с тем в последние годы увеличилось количество сооружений, эксплуатируемых с повреждениями, участились аварии подпорных стен и масштабы их последствий. Знания в рассматриваемой области позволили бы повысить безопасность эксплуатации подпорных стен за счет повышения их живучести.

Работа подпорных стен, их взаимодействие с грунтом изучалась многими отечественными и зарубежными учеными. Широко известны публикации М.И. Горбунов-Посадова, О.Я. Шехтера, Г.К. Клейна, Н.К. Снитко, С.И. Алексеева, Н.И. Безухова, В.А. Гришина, В.П. Кожушко, П.И. Яковлева и др. Вместе с тем они практически не затрагивали работу сооружений при наличии повреждений.

Вопросам работы с повреждениями, живучести, прогрессирующего разрушения зданий различной конструктивной схемы и назначения посвящены труды таких ученых, как: Н.С. Стрелецкий, Н.П. Абовский, В.И. Колчунов, Г.А. Гениев, Г.И. Шапиро, В.И. Травуш, Н.В. Клюева, А.В. Перельмутер, П.Г. Еремеев, Б.С. Расторгуев, В.М. Бондаренко, Я.М. Айзенберг, Ю.И. Кудишин, В.О. Алмазов, А.И. Плотников, А.Г. Тамразян, В.М. Ройтман, С.В. Доронин, В.В. Тур, В.К. Востров, Ю.П. Назаров, В.Н. Симбиркин и др. Подобные исследования проводятся преимущественно для надземных объектов и не встречаются для подпорных стен.

Цель исследования – на основании численного эксперимента изучить особенности работы системы «подпорная стена – грунт» при возникновении и развитии вывалов, и определить влияние их расположения на живучесть системы. Задачи исследования: рассмотреть результаты численного эксперимента; выявить особенности изменения напряженно-деформированного состояния сооружения и грунтового основания при возникновении и развитии повреждения; выявить факторы, влияющие на живучесть сооружения.

Для численных исследований работы массивных подпорных стен с повреждениями были построены модели в программном комплексе «Plaxis 3D». Толщина подпорной стены со-

ставляла 1,2 м, высота – 4 м, длина – 10 м, глубина заложения фундамента – 1 м. В численном эксперименте использовался грунтовый массив, сложенный песками и суглинками.

Моделировались следующие виды повреждений в стене, характерные для реальных сооружений:

- вывалы выше средней части стены с последующим развитием вверх;
- вывалы ниже средней части стены с развитием вниз;
- вывалы в нижней части стены с разрушением фундамента сооружения.

Сквозное повреждение в конструкции моделировалось в ПК «Plaxis 3D» путем разбиения конструкции на участки прямоугольной формы. В процессе эксперимента заданные участки стены на определенном этапе эксперимента последовательно выключались.

Исследования предусматривали следующие фазы расчета:

- начальная фаза;
- расчет системы «сооружение – грунт» без повреждений;
- расчет системы с первичным повреждением стены;
- расчет с увеличившимся в заданном направлении повреждением стены.

В исследованиях анализировались эпюры изгибающих моментов, поперечных и продольных сил в стене, деформации и напряжения в грунтовом массиве. Во всех моделях с несвязным грунтом расчет остановился на фазе введения первоначальных повреждения сообщением «грунтовое тело разрушено», что связано с местным просачиванием грунта сквозь повреждение. Вследствие этого дальнейшие исследования с несвязным грунтом не проводились.

Максимальные усилия в континуальной подпорной стене при повреждении выше средней части с развитием повреждения вверх представлены в таблице 1. Как видно из таблицы, преобладающим моментом в стене на всех фазах расчета был момент M_{22} . Его максимальные значения наблюдались у начала заглубления стены в основание (рис. 1, а). При начальном повреждении величина момента M_{22} возросла в 1,4 раза, что связано с процессами, происходящими в грунте: возникновением арочного эффекта у повреждения, увеличением деформаций грунта в направлении осей «x» и «z», увеличением угла поворота и смещения стены и, соответственно, ростом активного давления на сооружение (рис. 2). При развитии повреждения вверх максимальный момент M_{22} в 1,35 превышал первоначальное значение в конструкции без повреждения. Уменьшение его величины на последней фазе расчета можно объяснить снижением площади подпорной стены и ограниченным перемещением грунта в образовавшееся повреждение, не приводящее к потере устойчивости участка откоса в месте повреждения.

Таблица 1 – Максимальные усилия в континуальной подпорной стене при повреждении выше средней части с развитием повреждения вверх

Наличие повреждения	Усилия в стене (+/-)					
	M_{22} , кНм/м	Q_{xz} , кН/м	N_z , кН/м	M_{11} , кНм/м	Q_y , кН/м	N_y , кН/м
Без повреждения	5,71	18,80	0,65	1,25	5,44	1,26
	-6,87	-13,79	-126,7	-1,54	-7,17	-25,65
С повреждением в середине	0,73	15,53	15,89	0,33	63,05	60,39
	-9,70	-17,05	-183,9	-2,05	-39,16	-78,33
С развитием повреждения вверх	0,92	15,11	6,58	0,32	42,60	28,17
	-9,29	-16,41	-143,8	-1,96	-31,34	-38,65

В процессе введения и развития повреждения произошло небольшое уменьшение максимальных положительных значений поперечных сил Q_{xz} (в 1,21-1,24 раза). При этом наблюдалось увеличение в 1,24 раза абсолютных значений максимальных отрицательных поперечных сил Q_{xz} с небольшим снижением их на 3 фазе расчета. Данный фактор объясняется неравномерным распределением пассивного отпора грунта основания стены по оси «x» с введением

повреждения. Максимальные положительные значения Q_{xz} располагались выше, а отрицательные – ниже заглупления сооружения в грунт.

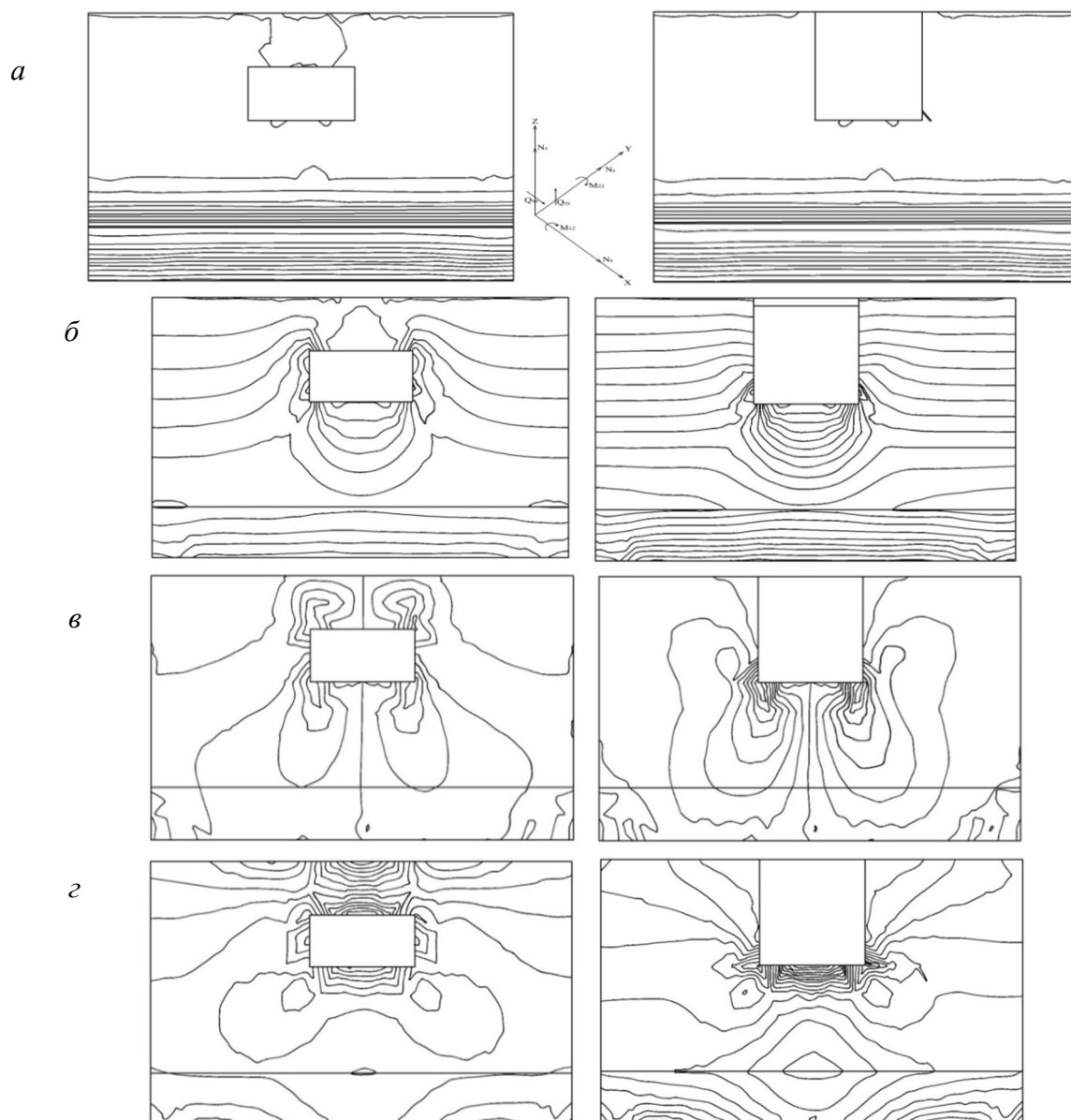


Рисунок 1 – Поля распределения изгибающего момента M_{22} (а), вертикальной силы N_z (б), поперечной силы (Q_{zy}) (в) и продольной силы (N_y) (г) при введении повреждения в центральной части и его развитии вверх

При первичном повреждении стены у его нижних углов отмечался рост максимальной вертикальной продольной силы N_z в 1,45 раза (см. табл. 1, рис. 1, б). Одновременно снизились значения продольной силы N_z под повреждением. С развитием повреждения вверх превышение максимальной величины продольной силы над ее первоначальным значением в конструкции без повреждения уменьшилось до 1,13 раза.

Значительные изменения при введении первичного повреждения произошли на ограниченных участках в величинах максимальных усилий: поперечной силы Q_{zy} , увеличившейся в 11,6 раза, и продольной силы N_y , увеличившейся в 47,93 раза (см. табл. 1, рис. 1, в, г.) Максимальные значения поперечной силы Q_{zy} наблюдалась у всех углов повреждения (см. рис. 1, в). Максимальное значение продольной силы N_y при первичном повреждении было достигнуто в верхней части стены над повреждением (см. рис. 1, г). При этом сжимающие усилия были сконцентрированы в верхней части участка стены над повреждением, а растягивающие усилия – в нижней части этого участка. Концентрация продольных и поперечных усилий на второй фа-

за расчета формирует сложное напряженно-деформированное состояние участка стены над повреждением и способствует развитию повреждения вверх.

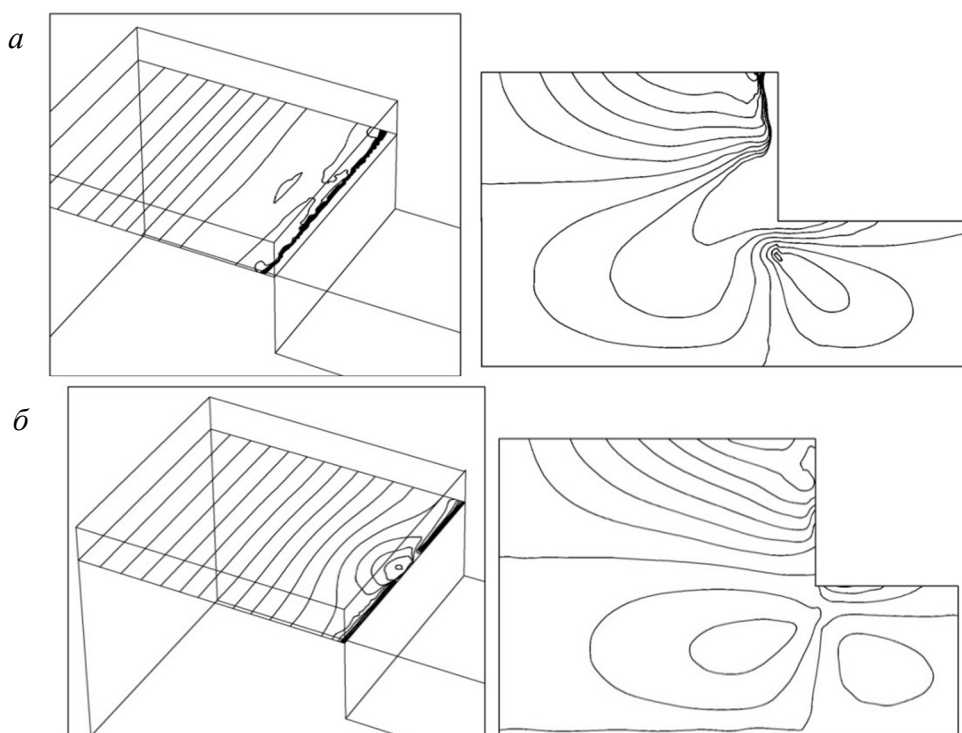


Рисунок 2 – Дополнительные перемещения в массиве грунта:
а – при первичном вывале; б – при развитии вывала

Увеличение повреждения на 3 фазе расчета вверх привело к снижению максимальных значений всех усилий в конструкции. Местом концентрации усилий N_y , N_z , Q_{zy} стали нижние углы повреждения. Непосредственно под повреждением образовался участок с растягивающими усилиями N_{y_2} , а в уровне поверхности грунта ниже повреждения – с сжимающими усилиями N_y (рис. 1, б, в, г). Такое распределение усилий в сочетании с концентрацией поперечных сил в третьей фазе расчета способствует дальнейшему развитию повреждения вниз.

Исследования работы конструкции с вывалами в средней части стены с развитием вниз осуществлялись с более низким, чем в предыдущем эксперименте расположением первичного повреждения по высоте. В таблице 2 представлены значения максимальных усилий в конструкции. Как видно из таблицы, максимальный изгибающий момент M_{22} при первичном повреждении увеличился в 1,34 раза с концентрацией его вдоль заделки стены в грунт основания. При развитии повреждения вниз максимальные значения момента M_{22} увеличился в 4,54 раза и располагались у углов повреждения.

Таблица 2 – Максимальные усилия в континуальной подпорной стене при повреждении в средней части с развитием повреждения вниз

Наличие повреждения	Усилия в стене (+/-)					
	M_{22} , кНм/м	Q_{xz} , кН/м	N_z , кН/м	M_{11} , кНм/м	Q_{zy} , кН/м	N_y , кН/м
Без повреждения	8,35	26,11	0,68	1,73	10,36	1,68
	-7,05	-18,69	-131,4	-1,53	-5,36	-25,68
С повреждением в середине	10,55	22,68	28,63	2,29	65,77	76,14
	-9,46	-15,74	-259,1	-2,10	-105,8	-70,31
С развитием повреждения вниз	21,92	73,67	46,53	8,44	169,8	156,0
	-32,02	-47,22	-483,2	-6,24	-126,0	-250,5

Общий рост в третьей фазе расчета максимальной поперечной силы Q_{xz} составил 2,82 раза, а максимальной вертикальной продольной силы N_z – 3,69 раза (табл. 2). При первичном повреждении зоны концентрации сжимающих напряжений N_z в стене располагались у боковых поверхностей повреждения. Непосредственно над и под повреждениями возникло растяжение с максимальным значением усилия 46,53 кН/м (рис. 3, а). Максимальные сжимающие напряжения N_y наблюдались в верхней зоне стены и в фундаменте на одной вертикали с повреждением (рис. 3, б). Зоны максимальных растягивающих напряжения N_y находились непосредственно над и под повреждением (рис. 3, а).

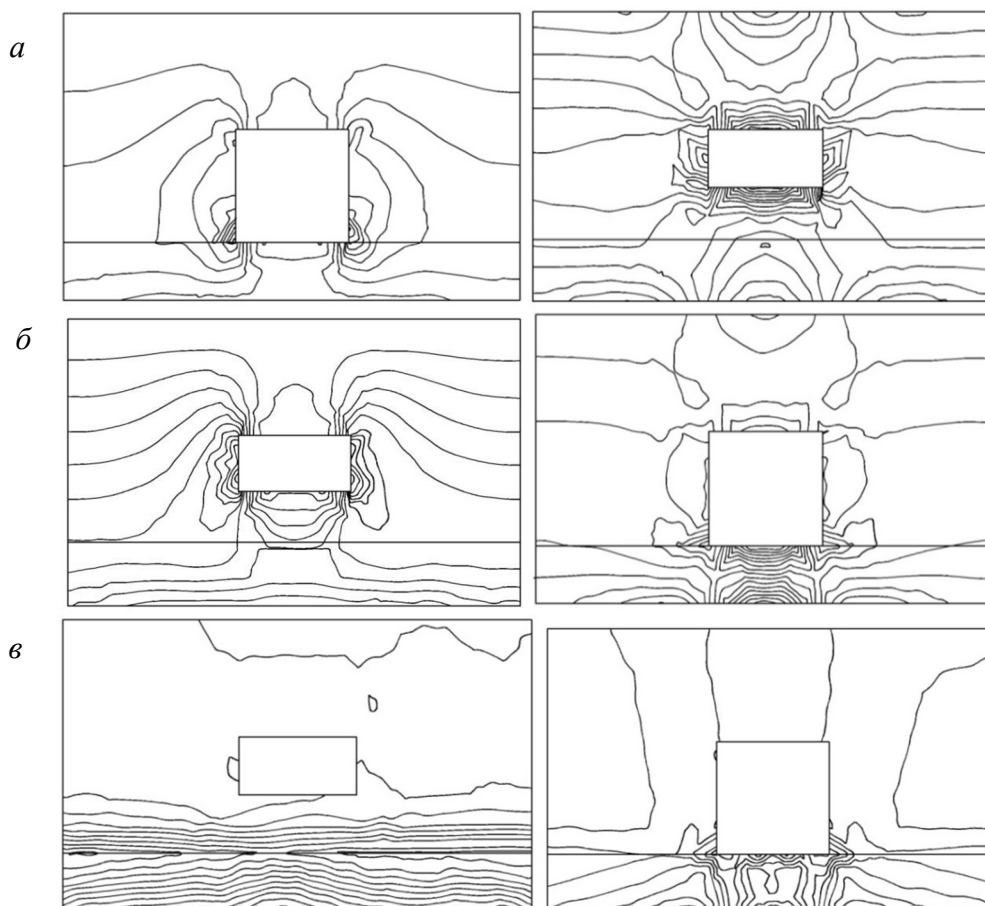


Рисунок 3 – Поля распределения продольной силы N_z (а), N_y (б) и изгибающего момента M_{11} при возникновении повреждения и его развитии вниз

Максимальные значения изгибающего момента M_{11} увеличились незначительно, хоть и превысили показатели, полученные в предыдущей модели. Сочетание растягивающих напряжений N_z , N_y , расположенных по периметру повреждения, и поперечных сил Q_{zy} , имеющих достаточно высокий уровень у угловых зон повреждения, способствует дальнейшему развитию повреждения как в низ, так и вверх. Вместе с тем, наличие изгибающего момента M_{11} , сконцентрированного на участках от нижних углов повреждения до фундамента, позволяет предположить, что наиболее вероятным направлением дальнейшего развития вывала является направление вниз.

На третьей фазе расчета при развитии повреждения вниз наблюдался существенный рост максимальной поперечной силы Q_{zy} (в 23,5 раза) и максимального продольного усилия N_y (в 92,9 раза) (табл. 2). Растягивающие усилия N_y достигали максимальных значений непосредственно под повреждением (рис. 3, б), что в сочетании со сконцентрированной на данном участке поперечной силы Q_{zy} создает условия для дальнейшего развития вывала вниз. В отличие от предыдущей модели в рассматриваемом численном эксперименте при развитии повреждения вниз происходило увеличение всех усилий в конструкции.

Максимальные усилия в подпорной стене при повреждении в нижней части стены и развитием повреждения до основания представлены в таблице 3. При введении первичного повреждения максимальный изгибающий момент M_{22} возрос в 3,64 раза, максимальная поперечная сила Q_{xz} – в 2,83 раза, а максимальная вертикальная продольная сила N_z – в 3,34 раза. Изгибающий момент M_{11} увеличился в 4,09 раза, поперечная сила Q_{zy} – в 62 раза, а продольная сила N_y – в 66,4 раза. Максимальные значения изгибающего момента M_{22} (рис. 4, а) и поперечной силы Q_{zy} (рис. 4, б) располагались у нижних углов повреждения, поперечная сила Q_{xz} – у четырех углов повреждения. Вертикальная продольная сила N_z достигала пиковых значений у боковых граней повреждения, а максимальные усилия N_y концентрировались на участке стены под повреждением: растягивающие – в его верхней зоне, а сжимающие – в нижней у основания сооружения (рис. 4, в). Максимальный изгибающий момент M_{11} располагался у нижних углов повреждения и на участке стены под ним. Таким образом, введение повреждений в нижней части конструкции приводит к созданию условий для выключения из работы заглубленной части стены с фундаментом.

Таблица 3 – Усилия в континуальной подпорной стене при повреждении в нижней части стены с развитием повреждения до основания

Наличие повреждения	Усилия в стене (+/-)					
	M_{22} , кНм/м	Q_{xz} , кН/м	N_z , кН/м	M_{11} , кНм/м	Q_{zy} , кН/м	N_y , кН/м
Без повреждения	7,34	18,00	0,66	2,13	3,50	2,80
	-7,99	-25,70	-127,3	-2,09	-5,68	-25,42
С повреждением в нижней части	26,71	51,11	61,07	5,38	150,5	186,0
	-24,49	-51,75	-424,0	-8,73	-217,7	-261,8
С развитием повреждения до основания	13,29	25,57	8,88	2,13	61,44	62,03
	-12,1	-27,06	-316,4	-2,031	-84,91	-74,85

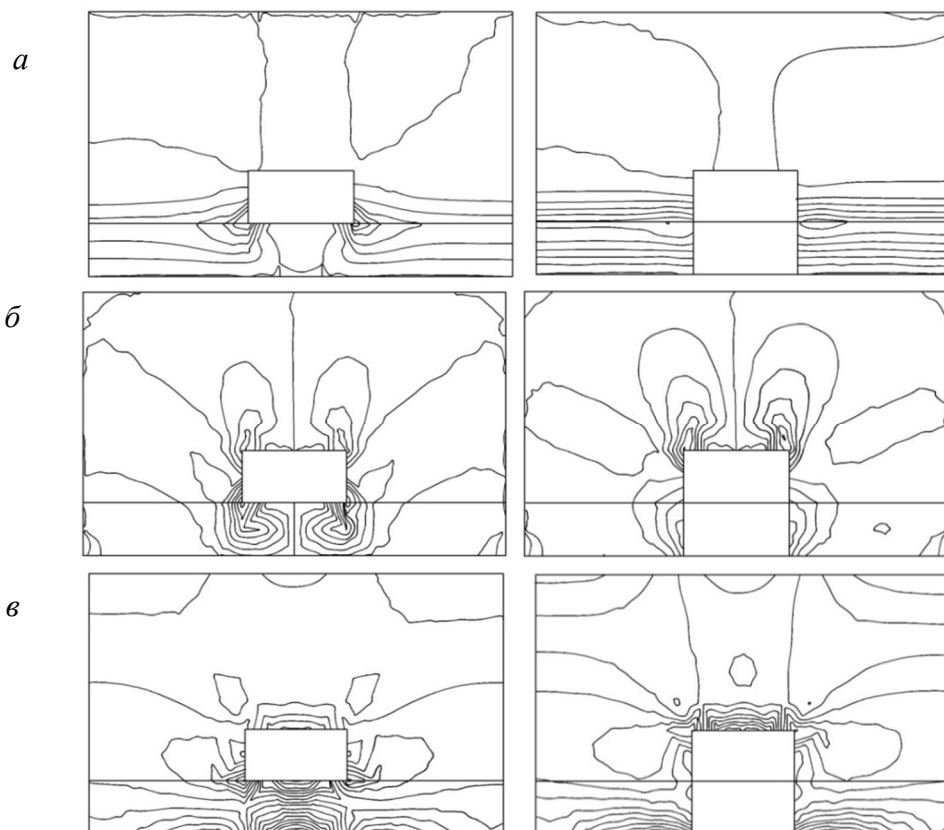


Рисунок 4 – Поля изгибающего момента M_{22} (а), поперечных сил Q_{zy} (б) и продольной силы N_y (в) в подпорной стене при возникновении повреждения в нижней части и развитии его вниз

Развитие повреждения до основания сооружения привело к снижению всех усилий в конструкции стены (табл. 3), что можно объяснить началом просачивания грунта в повреждение (рис. 5) и уменьшением концентраторов напряжений в стене.

В таблице 4 представлены сводные данные об изменении усилий в конструкции подпорной стены при введении различных повреждений. На основании таблицы и других результатов исследования можно сделать вывод, что максимальный рост большинства усилий в сооружении вызывают повреждения в виде вывалов, находящиеся ниже средней части стены и развивающиеся вниз. Учитывая значительный рост изгибающего момента M_{22} , низкорасположенные повреждения могут привести к разрушению стены от изгиба или опрокидыванию.

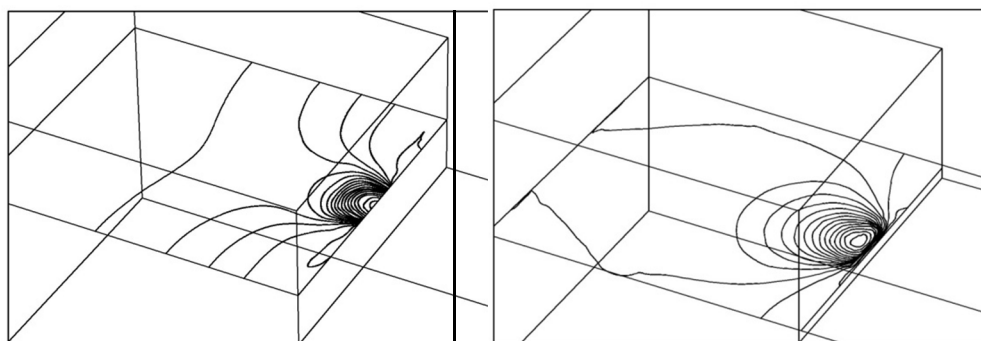


Рисунок 5 – Фазовые перемещения грунта в повреждение на отметке -2,5 м во второй модели и -3,5 м в третьей модели при развитии повреждения вниз

Таблица 4 – Итоговая таблица изменения максимальных усилий в континуальной подпорной стене при введении различных повреждений

Расположение повреждения	Направление развития повреждения	Увеличение усилий по отношению к усилиям в конструкции без повреждений (раз)					
		M_{22} , кНм/м	Q_{xz} , кН/м	N_z , кН/м	M_{11} , кНм/м	Q_{zy} , кН/м	N_y , кН/м
Выше середины	-	1,4	1,24	1,45	1,33	11,6	47,93
	вверх	1,35	1,19	1,13	1,27	7,83	22,35
Ниже середины	-	1,34	0,87	1,98	1,32	19,7	45,32
	Вниз до поверхности грунта	4,54	2,82	3,69	4,89	23,5	92,8
Внизу у поверхности грунта	-	3,64	2,83	3,34	4,09	62	66,4
	Вниз до основания	1,81	1,42	2,49	1,0	17,44	22,14

Выводы

Все рассмотренные варианты размещения повреждения в подпорных стенах в виде вывалов способствуют их дальнейшему развитию. Направление развития вывала зависит от расположения первичного повреждения. Для повреждений, находящихся выше середины стены, более характерно развитие вверх, а ниже середины стены – вниз;

Введение первичных повреждений приводит к значительному росту всех видов усилий в конструкции, в том числе возникновению на отдельных участках растягивающих усилий. Наиболее существенно возрастают продольная и поперечная силы N_y и Q_{zy} , а наиболее неблагоприятным местом расположения повреждения является нижняя часть подпорной стены;

Учитывая значительное возрастание всех максимальных усилий в конструкции подпорной стены при возникновении вывала, они в состоянии спровоцировать прогрессирующее разрушение сооружения.

При наличии повреждения в подпорной стене в виде вывалов потеря живучести сооружения может проявляться в виде просачивания грунта в повреждение (начало недопустимых перемещений массива), опрокидывания и начала прогрессирующего разрушения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дьяков, И.М. Некоторые аспекты оценки живучести удерживающих конструкций и подпорных стен [Текст] / И. М. Дьяков // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2013. – Вып. 45. – С. 24-28.

2. Дьяков, И.М. Виды и причины локального разрушения гравитационных подпорных стен в сложных инженерно-геологических условиях Крыма [Текст] / И.М. Дьяков, Д.А. Мравец // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2011. – Вып. 37. – С. 80-88.

Дьяков Игорь Михайлович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь

Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Инженерная геология, основания и фундаменты»

Тел.: +7 (978) 769-92-01

E-mail: karta3@mail.ru

I. D'YAKOV

**NUMERICAL EXPERIMENTS THE SURVIVABILITY
OF MASSIVE RETAINING WALLS IN THE PRESENCE
OF LOCAL LESIONS IN THE FORM OF HOLES**

The article describes the results of numerical experiments to assess the survivability of massive retaining walls in the presence of local lesions in the form of holes. The features of computational models and methods of the experiment. The evaluation of the stress-strain state of massive retaining walls and soil mass at the origin and development of various holes location. Identified possible areas for holes, depending on their location.

Keywords: *survivability, local damage, resistance to progressive deterioration, software package Plaxis, a massive retaining wall.*

BIBLIOGRAPHY

1. D'jakov, I.M. Nekotorye aspekty ocenki zhivuchesti uderzhivajushhih konstrukcij i podpornyh sten [Tekst] / I. M. D'jakov // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. – Simferopol': NAPKS, 2013. – Vyp. 45. – S. 24-28.

2. D'jakov, I.M. Vidy i prichiny lokal'nogo razrushenija gravitacionnyh podpornyh sten v slozhnyh inzhenerno-geologicheskikh uslovijah Kryma [Tekst] / I.M. D'jakov, D.A. Mravec // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. – Simferopol': NAPKS, 2011. Vyp. 37. – S. 80-88.

I. D'yakov

National academy of environmental and resort construction, Simferopol

Candidate of technical sciences, professor, head of the department «Engineering geology, bases and foundations»

Ph.: +7 (978) 769-92-01

E-mail: karta3@mail.ru

КЛЮЕВА Н.В., МАЛАХОВ А.В., ГОРНОСТАЕВ С.И.

К ОЦЕНКЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЙ ОДНОРОДНОСТИ КОНСТРУКЦИИ L-ОБРАЗНОГО НЕСУЩЕГО РИГЕЛЯ НАРУЖНОГО СТЕНОВОГО ОГРАЖДЕНИЯ ЗДАНИЯ СО СМЕШАННОЙ КОНСТРУКТИВНОЙ СИСТЕМОЙ*

В работе приведены результаты тепловизионного обследования наружной стены с L-образными перфорированными ригелями, являющимися составной частью смешанной конструктивной системы с внутренним сборно-монолитным несущим каркасом из панельных элементов для жилых и общественных зданий. В исследовании приведены данные по теплопередаче ригеля по сечению с перфорацией и утеплителем и по сечению без перфорации – по центру мостика холода. Результатом исследований стал вывод о частичном несоответствии теплотехнических характеристик конструкции ригеля и необходимости поиска путей его усовершенствования.

Ключевые слова: ригель с терморазъемами, тепловизионное обследование, энергосбережение, теплотехнические свойства.

Жилищно-коммунальный комплекс страны потребляет около 40% всей производимой в стране энергии. В этой связи последние десятилетия все большее внимание уделяется исследованиям, связанным с решением вопросов повышения энергоэффективности конструкций и строительных материалов с учетом их экологической безопасности. Одним из направлений, имеющих приоритетное значение для энергосбережения при эксплуатации зданий, является разработка конструкций оболочек здания с повышенными теплозащитными свойствами. Юго-Западным государственным университетом (ЮЗГУ) совместно с Орловским академцентром РААСН разработано и внедрено в строительство новое поколение конструктивных систем жилых и общественных зданий [1-4]. В частности, в предложенной в работе [4] конструктивной системе с внутренним сборно-монолитным несущим каркасом из панельных элементов для жилых и общественных зданий одним из ключевых элементов в решении энергоэффективной оболочки здания является конструктивное решение несущего обвязочного ригеля с терморазъемами (рис. 1). При этом наружные самонесущие стены здания выполнены слоистыми, комбинированными и оперты на несущий прямолинейный в плане ригель L-образного сечения с терморазъемами в виде отверстий в консольной полке ригеля. Панели перекрытий имеют многосвязное поперечное сечение с крупными пустотами различной формы, в торцах верхней полки которых имеются вырезы для устройства шпонок.

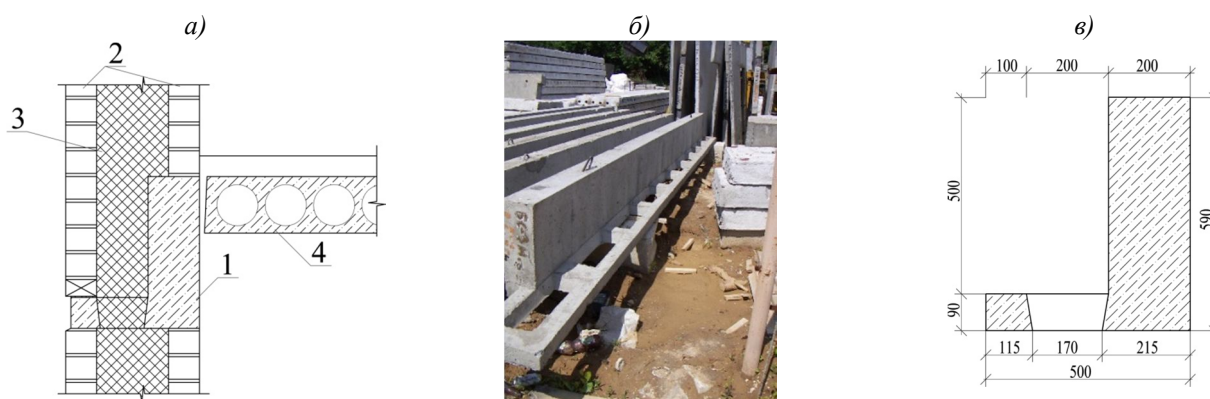


Рисунок 1 – Фрагмент наружной стены (а); общий вид (б); опалубочные размеры обвязочного ригеля (в): 1 – ригель; 2 – наружный и внутренний слой стены; 3 – утеплитель; 4 – панель перекрытия

* Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ МД-6533-2013.8.

Предложенная в рассматриваемой конструктивной системе конструкция L-образного ригеля всесторонне исследована с позиций обеспечения требований предельных состояний первой и второй групп [4, 5]. Не менее важным с позиции энергосбережения здания является исследование тепловых потоков в наружном контуре здания и, в частности, на наиболее уязвимых с точки зрения теплотехнической однородности участках сопряжения наружных стен с междуэтажными перекрытиями и балконными плитами. Для анализа был исследован участок наружной стены эксплуатируемого 10-тиэтажного жилого дома с рассматриваемой конструктивной системой в г. Орле (рис. 2).



Рисунок 2 – Исследуемый фрагмент фасада жилого дома в городе Орле

Характеристики материала ограждающей конструкции наружной стены между первым и вторым этажами здания приведены в таблице 1. Регистрация температурных полей в исследуемой зоне была выполнена с помощью тепловизора Testo 875-2 методом теплового неразрушающего контроля.

Конструкция условно разделена на две части: горизонтальную (полку), представляющую собой в сечении прямоугольную форму и вертикальную (стенку), с расположенными параллельно стенке слоями стенового ограждения, так же образующими прямоугольную форму в сечении (см. рис. 1).

Таблица 1 – Характеристики материалов оболочки стенового ограждения с L-образной конструкцией ригеля

Материал	Плотность ρ , кг/м ³	Коэффициент теплопроводности, λ , Вт/(м·К)	Коэффициент паропроницаемости, μ , мг/(м·ч·Па)
Железобетон (ГОСТ 26633)	2500	2,04	0,03
Полистиролбетон (ГОСТ 51263-99)	200	0,08	0,12
Кирпич силикатный на цементно-песчаном растворе (ГОСТ 379)	1800	0,87	0,11

На рисунке 3 приведены графики распределения температуры по сечению ригеля с перфорацией и утеплителем (рис. 3, а) и по сплошному сечению ригеля в зоне перемиčky перфорированного сечения – по центру мостика холода (рис. 3, б).

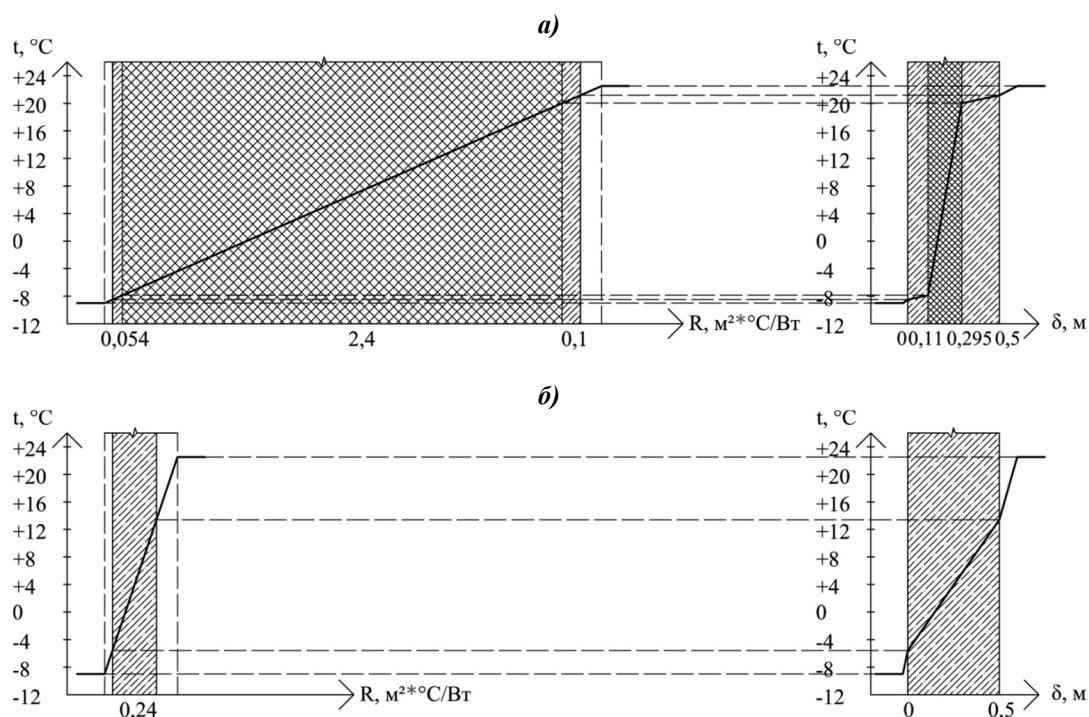


Рисунок 3 – Распределение температур в сечении L-образного ригеля стенового ограждения: а – сечение полки с перфорацией и утеплителем; б – сплошное сечение по перемычке

Анализ полученных экспериментальных данных (рис. 4, 5) показал наличие мостиков холода в конструкции перфорированного ригеля (см. точки с минимальной CS1 и максимальной HS1 температурой).

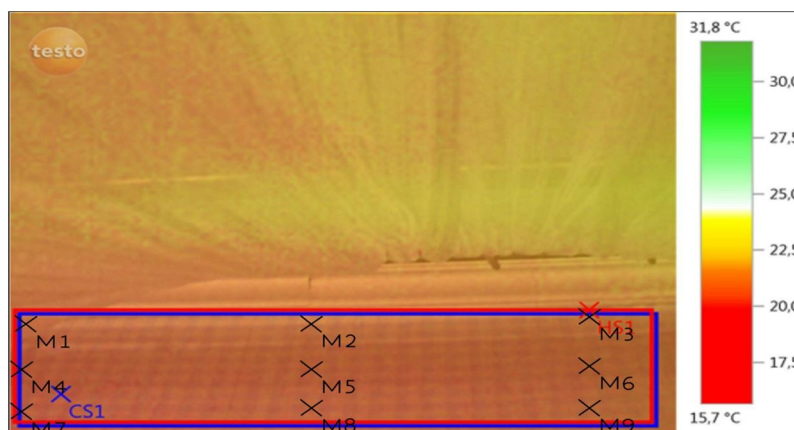


Рисунок 4 – Термограмма внутренней поверхности наружной стены в зоне сопряжения ригеля с междуэтажным ригелем и точки минимальной CS1 и максимальной HS1 температурой

Анализ экспериментальных данных в сопоставлении с требованиями норм показал также, что при понижении температуры наружного воздуха с 7°C до $-4,5^{\circ}\text{C}$ средняя температура поверхности элемента ограждающей конструкции составила $14,4^{\circ}\text{C}$, что выше температуры точки росы $t_d = 12,8^{\circ}\text{C}$ (согласно требованиям СП 23-101-2004) при полученных параметрах микроклимата. Однако, минимальная температура поверхности конструкции равна 12°C , что уже не удовлетворяет санитарно-гигиеническим требованиям СП 50.13330.2012. Это обстоятельство при определенной влажности внутреннего воздуха может привести к увлажнению конструкции, снижению ее теплотехнических свойств и появлению других нежелательных последствий на поверхности ригеля.

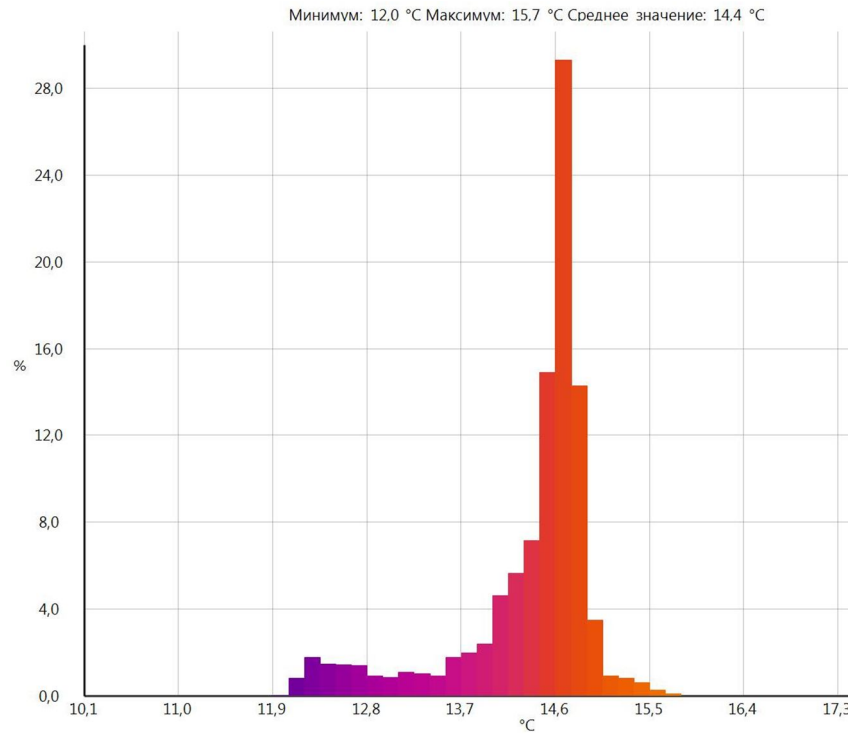


Рисунок 5 – Гистограмма распределения температуры по площади поверхности конструкции ригеля

Анализ влажностного состояния конструкции, выполненный расчетом по требованиям СП 50.13330.2012, показал следующее. Согласно полученным графикам распределения давлений в сечении конструкций, (рис. 6, а) можно увидеть, что плоскость конденсации в рассматриваемом сечении расположена вблизи наружной поверхности утеплителя. Зона увлажнения включает внешнюю часть утеплителя и наружный слой бетона полки ригеля. На графике распределения давлений в сплошном сечении конструкции по центру мостика холода без перфорированных вставок (рис. 6, б) можно видеть, что фактические значения давления водяного пара ни в одной точке не превышают значения давления насыщенного пара (кривые 1 и 2). Это означает отсутствие зоны конденсата при принятом конструктивном решении ригеля и теплотехнических характеристиках материала.

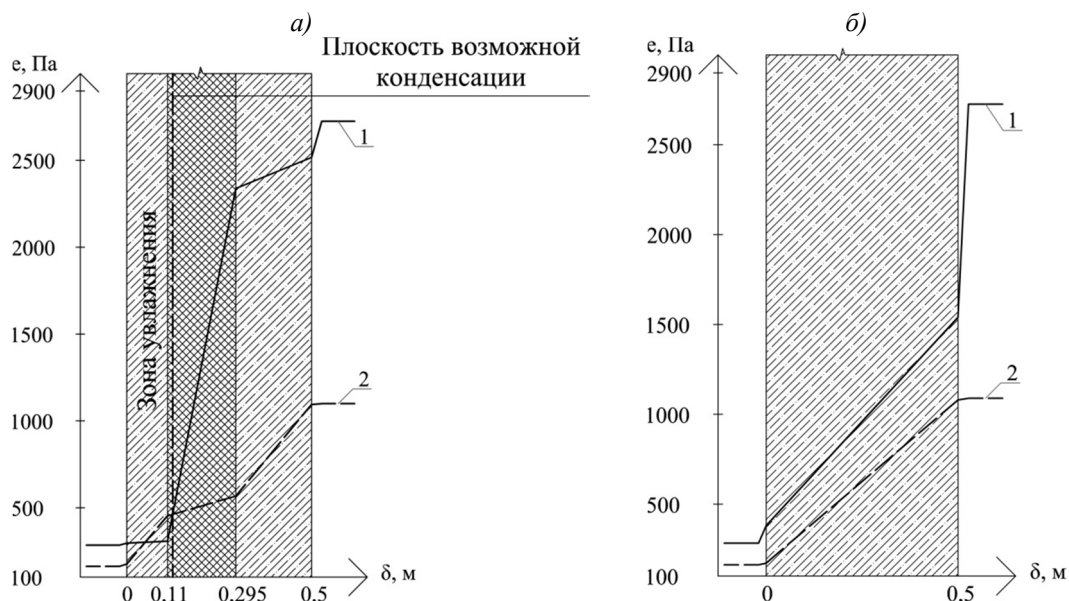


Рисунок 6 – Распределение упругости водяного пара по сечению L-образного ригеля: а – сечение полки с перфорацией и утеплителем; б – сплошное сечение по перемычке; 1 – максимальная упругость водяного пара; 2 – фактическая упругость водяного пара

Таким образом, выполненная оценка теплозащитных свойств конструкции несущего перфорированного ригеля методом теплового неразрушающего контроля позволило установить его несоответствие санитарно-гигиеническим нормам. При всех статических достоинствах предложенной конструкции ригеля и конструктивной системы здания в целом необходимо усовершенствование конструкции ригеля. Например, путем изменения его конструктивной формы и оптимизации конструктивного решения как с позиции предельных состояний, так и удовлетворения теплотехнических качеств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дмитриев, А.Н. Энергосберегающие ограждающие конструкции гражданских зданий с эффективными утеплителями [Текст]: Диссертация на соискание степени д-ра техн. наук. – М., 1999. – 373 с.
2. Колчунов, В.И. Некоторые направления развития конструктивных решений жилых зданий и обеспечение их безопасности [Текст] /В.И. Колчунов // Промышленное и гражданское строительство. – 2007. – №4. – С. 14-18.
3. Карпенко, Н.И. Основные направления ресурсоэнергосбережения при строительстве и эксплуатации зданий [Текст]. Ч.1. Ресурсоэнергосбережение на стадии производства строительных материалов, стеновых изделий и ограждающих конструкций / Н.И. Карпенко // Строительные материалы. – 2013. – №7. – С. 12-21.
4. Колчунов, В.И. Быстровозводимые энерго-, ресурсоэффективные жилые дома массового строительства с внутренним каркасом из панельных элементов [Текст] // Непрерывное архитектурно-строительное образование как фактор обеспечения качества среды жизнедеятельности. Труды общего собрания РААСН. – Воронеж: ВГАСУ, 2005. – С. 256-262.
5. Ключева, Н.В. Ресурсоэнергосберегающая конструктивная система жилых и общественных зданий с заданным уровнем конструктивной безопасности [Текст] / Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, А.С. Бухтиярова // Промышленное и гражданское строительство. – М.: Изд-во ПГС, 2014. – №2. – С. 37-40.

Ключева Наталия Витальевна

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: klynavit@yandex.ru

Малахов Александр Валерьевич

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Аспирант кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: pgs_swsu@mail.ru

Горностаев Сергей Иванович

Юго-Западный государственный университет, г. Курск

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Промышленное и гражданское строительство»

E-mail: pgs_swsu@mail.ru

N. KLYUEVA, A. MALAKHOV, S. GORNOSTAEV

TO THE ASSESSMENT OF HEATTECHNICAL UNIFORMITY OF THE DESIGN OF THE L-SHAPED BEARING CROSSBAR OF THE EXTERNAL WALL PROTECTION OF THE BUILDING WITH THE MIXED CONSTRUCTIVE SYSTEM

Results of thermovision inspection of an external wall are given in work with the L-shaped punched crossbars which are a component of mixed constructive system with an internal combined and monolithic bearing framework from panel elements for residential and public buildings. Data on a crossbar heat transfer on section with perforation and heater are provided in research and on section without perforation – on the center of the bridge of cold. The conclusion about partial discrepancy of heattechnical characteristics of a design of a crossbar and need of search of ways of its improvement became result of researches.

Keywords: crossbar with thermosockets, thermovision inspection, energy saving, heattechnical properties.

BIBLIOGRAPHY

1. Dmitriev, A.N. Jenergosberegajushhie ogradhdajushhie konstrukcii grazhdanskih zdaniy s jeffektivnymi utepiteljami [Tekst]: Dissertacija na soiskanie stepeni d-ra tehn. nauk. – M., 1999. – 373 s.
2. Kolchunov, V.I. Nekotorye napravlenija razvitija konstruktivnyh reshenij zhilyh zdaniy i obespechenie ih bezopasnosti [Tekst] / V.I. Kolchunov // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2007. – №4. – S. 14-18.
3. Karpenko, N.I. Osnovnye napravlenija resursojenergosberezhenija pri stroitel'stve i jekspluatacii zdaniy [Tekst]. Ch.1. Resursojenergosberezhenie na stadii proizvodstva stroitel'nyh materialov, stenovyh izdelij i ogradhdajushih konstrukcij / N.I. Karpenko // Stroitel'nye materialy. – 2013. – №7. – S. 12-21.
4. Kolchunov, V.I. Bystrovozvodimye jenergo-, resursojeffektivnye zhilye doma massovogo stroitel'stva s vnutrennim karkasom iz panel'nyh jelementov [Tekst] // Nepreryvnoe arhitekturno-stroitel'noe obrazovanie kak faktor obespechenija kachestva sredy zhiznedejatel'nosti. Trudy obshhego sobranija RAASN. – Voronezh: VGASU, 2005. – S. 256-262.
5. Kljueva, N.V. Resursojenergosberegajushhaja konstruktivnaja sistema zhilyh i obshhestvennyh zdaniy s zadannym urovnem konstruktivnoj bezopasnosti [Tekst] / N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, A.S. Buhtijarova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – M.: Izd-vo PGS, 2014. – №2. – S. 37-40.

N. Klyueva

Southwest state university, Kursk

Doctor of technical sciences, professor, head of department «Industrial and civil construction»

E-mail: klynavit@yandex.ru

A. Malakhov

Southwest state university, Kursk

Postgraduate student of the department «Industrial and civil construction»

E-mail: pgs_swsu@mail.ru

S. Gornostaev

Southwest state university, Kursk

Candidate of technical sciences, senior lecturer of the department «Industrial and civil construction»

E-mail: pgs_swsu@mail.ru

КОРНИЕНКО С.В.

О ПРИМЕНИМОСТИ МЕТОДИКИ СП 50.13330.2012 К РАСЧЕТУ ВЛАЖНОСТНОГО РЕЖИМА ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ С МУЛЬТИЗОНАЛЬНОЙ КОНДЕНСАЦИЕЙ ВЛАГИ

Показано, что методика актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» (СП 50.13330.2012) не применима к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги. Неоднозначность выбора плоскости максимального увлажнения согласно СП 50.13330.2012 приводит к противоречивым результатам в оценке влагозащитных свойств конструкции и затрудняет работу проектировщика.

Ключевые слова: СП 50.13330.2012, мультizonальная конденсация влаги, плоскость максимального увлажнения, паропроницаемость, потенциал влажности.

Еще на стадии проектирования необходимо знать участки ограждающей конструкции, подвергающиеся наибольшему увлажнению. Знание таких участков дает возможность разработать проектные решения, которые позволят исключить влагонакопление, и тем самым повысить долговечность и эксплуатационные качества наружных ограждений. Проблема учета влажностного режима при проектировании ограждающих конструкций является весьма актуальной [1-5].

Согласно действующей редакции СНиП 23-02-2003 «Тепловая защита зданий» (разд. 9) плоскость возможной конденсации в однослойной конструкции располагается от внутренней поверхности на расстоянии, равном $2/3$ толщины конструкции, а в многослойной конструкции совпадает с наружной поверхностью утеплителя. Такое положение было закреплено в нормах с середины 50-х г.г. прошлого века и применимо, строго говоря, только к стандартным конструктивным решениям. Для современных ограждающих конструкций с повышенным уровнем теплозащиты возникает вопрос о применимости методики СНиП.

В работе [6] рассматривается методика определения плоскости возможной конденсации влаги в конструкции. Она базируется на использовании метода безразмерных характеристик. В плоскости возможной конденсации разность между парциальным давлением водяного пара и давлением насыщенного водяного пара достигает максимального значения в пределах толщины рассматриваемого слоя ограждения. В.В. Козлов разработал методику по определению плоскости максимального увлажнения с целью оценки влажностного режима современных ограждающих конструкций. Она позволяет более точно определить переувлажненные участки ограждающей конструкции с учетом граничных условий на стыках материалов в многослойной конструкции за период влагонакопления. Методика В.В. Козлова включена в актуализированную редакцию СНиП [7] и позволяет производить расчет однослойных и многослойных ограждающих конструкций при стационарных условиях влагопереноса по механизму паропроницаемости.

В данной статье выполнена оценка применимости методики актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» (СП 50.13330.2012) к расчету строительных ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги. Под ограждающей конструкцией с мультizonальной конденсацией влаги мы понимаем конструкцию с несколькими участками конденсации влаги. Такие конструкции широко применяются в практике современного строительства как во вновь возводимых, так и реконструируемых зданиях [8-11].

Согласно СП 50.13330.2012 (п. 8.5) плоскость максимального увлажнения определяется для периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха (периода влагонакопления) следующим образом:

1. Для каждого слоя многослойной конструкции вычисляется значение комплекса $f_i(t_m)$, характеризующего температуру в плоскости максимального увлажнения, по формуле:

$$f_i(t_m) = 5330 \frac{R_v^{con} (t_{int} - t_0^{ext})}{R_h^{con} (e_{int} - e_0^{ext})} \cdot \frac{\mu_i}{\lambda_i},$$

где i – номер слоя; R_h^{con} и R_v^{con} – общее сопротивление теплопередаче и паропроницанию ограждающей конструкции; t_{int} , e_{int} – температура и парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха; t_0^{ext} , e_0^{ext} – средняя температура и парциальное давление водяного пара наружного воздуха за период влагонакопления; λ_i , μ_i – расчетные коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости материала соответствующего слоя.

2. По полученным значениям комплекса $f_i(t_m)$ для каждого слоя конструкции определяются значения температур $t_{m,i}$ в плоскости максимального увлажнения.

3. Для каждого слоя конструкции определяются температуры на границах слоя.

4. Производится сравнение значений $t_{m,i}$ с температурами на границах слоев конструкции. Если температура в каком-либо слое находится в интервале температур на границах этого слоя, то делается вывод о наличии в данном слое плоскости максимального увлажнения и определяется координата этой плоскости.

5. Производится поиск плоскости максимального увлажнения на границах слоев.

6. Если внутри конструкции плоскость максимального увлажнения отсутствует, то она расположена на наружной поверхности конструкции.

7. Если в конструкции имеется две плоскости максимального увлажнения, то за плоскость максимального увлажнения принимается плоскость, расположенная в слое утеплителя.

Вышеприведенный алгоритм расчета применим только к очень простым конструкциям. Процесс тепло- и влагопередачи в реальных ограждающих конструкциях более сложен. В конструкции может быть несколько слоев теплоизоляции. Конструкция может вообще не иметь выраженного теплоизоляционного слоя. Внутри конструкции может быть несколько плоскостей максимального увлажнения. При отсутствии внутри конструкции плоскости максимального увлажнения эта плоскость может располагаться на внутренней поверхности, например, для помещений с мокрым режимом. В конструкции могут располагаться слои пароизоляции, которые приводят к скачкам парциального давления водяного пара на границах слоев. Указанные обстоятельства могут привести к ошибкам в процессе проектирования.

Определим плоскость максимального увлажнения для ограждающей конструкции, широко применяемой в практике строительства согласно методике СП 50.13330.2012.

Рассмотрим конструкцию наружной стены из монолитного железобетона с использованием несъемной опалубки (рис. 1). Здание жилое, место строительства – г. Волгоград.

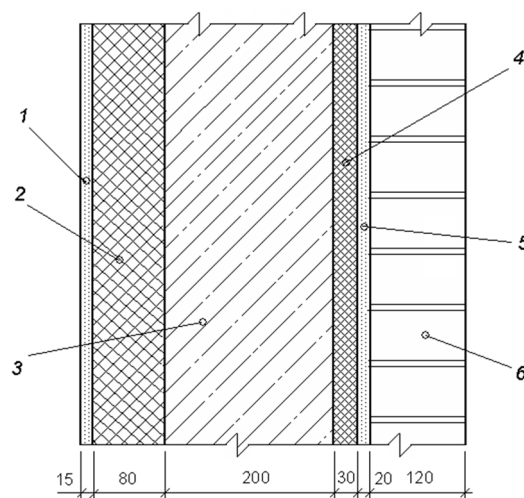


Рисунок 1 – Расчетная схема наружной стены: 1 – внутренняя штукатурка; 2 – внутренний слой несъемной опалубки; 3 – конструктивный слой; 4 – наружный слой несъемной опалубки; 5 – выравнивающий слой; 6 – кирпичная кладка

Влажностный режим помещения – сухой. Зона влажности места строительства – сухая. Условия эксплуатации ограждающей конструкции – А. Необходимые для расчета теплофизические характеристики материалов наружной стены, согласно СП 50.13330.2012, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Расчетные теплофизические характеристики материалов наружной стены

№ слоя	Материал слоя	Плотность материала в сухом состоянии ρ_0 , кг/м ³	Теплопроводность λ_A , Вт/(м·°С)	Коэффициент паропроницаемости μ , мг/(м·ч·Па)
1	Известково-песчаный раствор	1600	0,7	0,12
2	Пенополистирол	30	0,038	0,05
3	Железобетон	2500	1,92	0,03
4	Пенополистирол	30	0,038	0,05
5	Цементно-песчаный раствор	1800	0,76	0,09
6	Кирпичная кладка	1800	0,7	0,11

Расчет влажностного режима наружной стены выполнен для периода с отрицательными среднемесячными температурами наружного воздуха при граничных условиях, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Граничные условия для расчета ограждающей конструкции на конденсацию влаги

Наименование показателя	Обозначение, ед. изм.	Значение показателя
Температура: внутреннего воздуха	t_{int} , °С	20
наружного воздуха	t_{ext} , °С	-4,5
Парциальное давление водяного пара: внутреннего воздуха	e_{int} , Па	1273
наружного воздуха	e_{ext} , Па	388
Коэффициенты теплообмена: у внутренней поверхности стены	α_{si} , Вт/(м ² ·°С)	8,7
у наружной поверхности стены	α_{se} , Вт/(м ² ·°С)	23
Коэффициенты влагообмена [4]: у внутренней поверхности стены	β_{si} , кг/(м ² ·с·Па)	$25 \cdot 10^{-9}$
у наружной поверхности стены	β_{se} , кг/(м ² ·с·Па)	$75 \cdot 10^{-9}$

При указанных выше исходных данных сопротивление теплопередаче наружной стены $R_h^{con} = 3,38 \text{ м}^2 \cdot \text{°С}/\text{Вт}$ общее сопротивление паропроницанию $R_v^{con} = 10,32 \text{ м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{Па}/\text{мг}$.

Расчет по СП 50.13330.2012 дает две плоскости максимального увлажнения (табл. 3).

Первая плоскость лежит на стыке внутреннего слоя несъемной опалубки с железобетонным слоем. Вторая плоскость расположена на стыке наружного слоя несъемной опалубки с выравнивающим слоем. В этом случае согласно требованию СП 50.13330.2012 плоскость максимального увлажнения должна находиться в слое утеплителя (см. п. 7 алгоритма расчета).

Поскольку в данной конструкции имеется два теплоизолирующих слоя, то возможны два варианта расположения плоскости максимального увлажнения.

Для контроля полученных результатов используем метод расчета влажностного режима ограждающих конструкций на основе построения профилей температуры и парциального давления водяного пара, с определением зон конденсации влаги в ограждении [2, 3]. Условие конденсации влаги в ограждающей конструкции имеет следующий вид:

$$e \geq E, \tag{1}$$

где e – парциальное давление водяного пара в порах материалов; E – парциальное давление насыщенного водяного пара.

Таблица 3 – Расчет плоскости максимального увлажнения в ограждающей конструкции

№ слоя	Комплекс $f_i(t_m)$, (°C) ² /Па	Температура в слое $t_{m,i}$, °C	Температура на границах слоя $t_{b,i}$, °C	Плоскость максимального увлажнения	
				в слое	на границах слоя
1	77,23	7,19	19,2	–	–
2	592,8	–22,6	19,0	–	–
3	7,039	18,0	3,73	–	+
4	592,8	–22,6	2,98	–	–
5	53,35	13,4	–2,75	–	+
6	70,80	8,63	–2,94	–	–
			–4,18	–	–

В таблице 3 знак «–» указывает на отсутствие плоскости максимального увлажнения, знак «+» – на наличие такой плоскости.

Расчет ограждающей конструкции на конденсацию влаги производится в следующей последовательности. Определяют профиль температуры $t(x)$ по сечению конструкции. По профилю температуры определяют профиль парциального давления насыщенного водяного пара $E(x)$. Рассчитывают профиль парциального давления водяного пара $e(x)$. Находят точки x , в которых выполняется условие (1). Это и будет зона конденсации влаги в ограждающей конструкции. В зоне конденсации находится плоскость максимального увлажнения.

Профиль температуры по сечению рассматриваемой конструкции описывается кусочно-линейной функцией вида:

$$t(x) = \begin{cases} 19,17 - 10,37x, & 0 \leq x \leq 0,015; \\ 21,87 - 190,95x, & 0,015 < x \leq 0,095; \\ 4,094 - 3,779x, & 0,095 < x \leq 0,295; \\ 59,31 - 190,95x, & 0,295 < x \leq 0,325; \\ 0,353 - 9,547x, & 0,325 < x \leq 0,345; \\ 0,636 - 10,366x, & 0,345 < x \leq 0,465. \end{cases} \quad (2)$$

По профилю температуры $t(x)$ с учетом приведенной в СП 50.13330.2012 зависимости $E(t)$ определяется профиль парциального давления насыщенного водяного пара $E(x)$:

$$E(x) = 1,84 \cdot 10^{11} \exp\left(-\frac{5330}{273 + t(x)}\right). \quad (3)$$

Профиль парциального давления водяного пара в рассматриваемой конструкции описывается кусочно-линейной функцией вида:

$$e(x) = \begin{cases} 1272 - 714,66x, & 0 \leq x \leq 0,015; \\ 1287 - 1715x, & 0,015 < x \leq 0,095; \\ 1396 - 2859x, & 0,095 < x \leq 0,295; \\ 1058 - 1715x, & 0,295 < x \leq 0,325; \\ 810,62 - 952,88x, & 0,325 < x \leq 0,345; \\ 750,84 - 779,63x, & 0,345 < x \leq 0,465. \end{cases} \quad (4)$$

Анализ профиля температуры $t(x)$ показывает (рис. 2), что температура понижается от внутренней поверхности стены к наружной поверхности. Максимальное падение температуры отмечается в теплоизоляционных слоях, материал которых имеет минимальное значение теплопроводности (см. табл. 1). Зона отрицательной температуры находится на участке $0,311 \leq x \leq 0,465$ и включает в себя кирпичную кладку, выравнивающий слой, а также часть наружного слоя несъемной опалубки, примыкающую к выравнивающему слою.

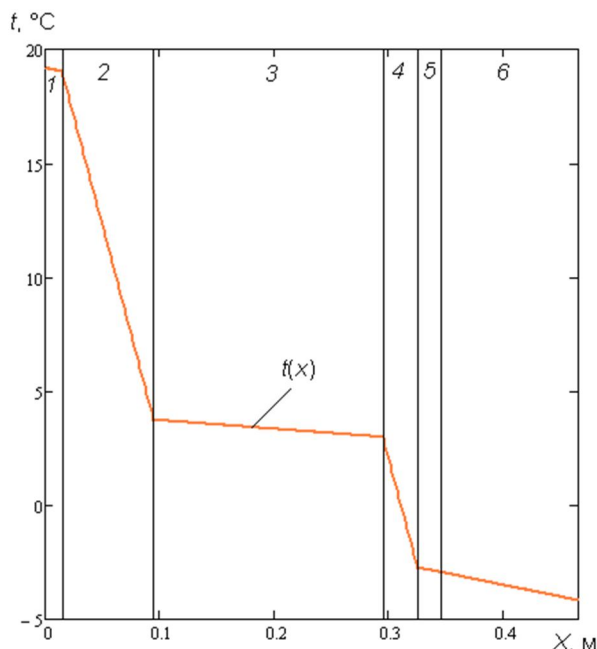


Рисунок 2 – Профиль температуры $t(x)$ по сечению наружной стены

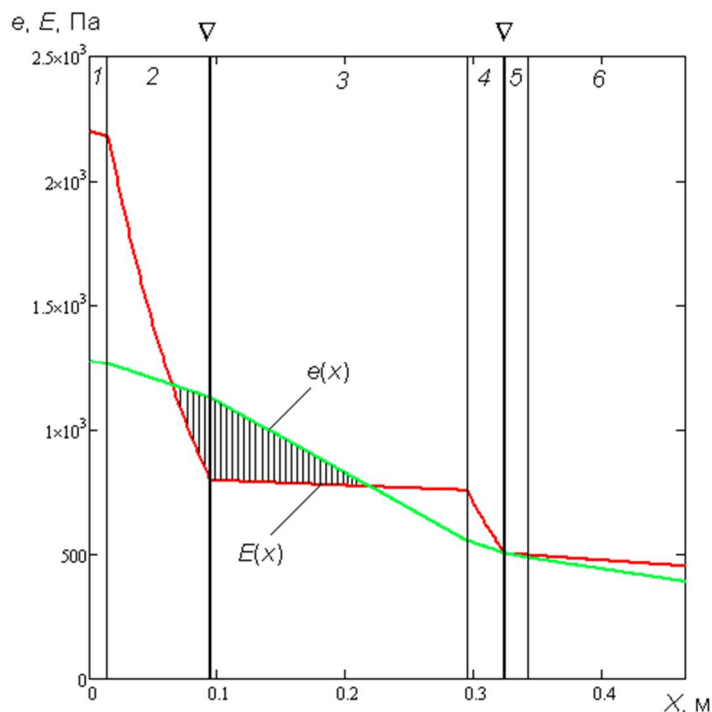


Рисунок 3 – Профили парциального давления водяного пара $e(x)$ и парциального давления насыщенного водяного пара $E(x)$ по сечению наружной стены (значком «∇» условно обозначены плоскости максимального увлажнения)

Графики зависимостей $e(x)$ и $E(x)$ приведены на рисунке 3. Превышение парциального давления водяного пара над давлением насыщенного пара указывает на конденсацию влаги в

наружной стене (заштрихованный участок на рис. 3). Рассматриваемая конструкция имеет мультizonальную конденсацию влаги с двумя зонами конденсации. Первая зона конденсации находится на участке $0,065 \leq x \leq 0,22$. Плоскость максимального увлажнения в этой зоне расположена на стыке внутреннего слоя несъемной опалубки с конструкционным слоем ($x = 0,095$). Вторая зона (плоскость) конденсации лежит на стыке наружного слоя несъемной опалубки с выравнивающим слоем ($x = 0,325$). Таким образом, приведенный расчет влажностного режима на основе построения профилей температуры и парциального давления водяного пара подтверждает корректность расчета по СП 50.13330.2012. Определенная по актуализированной редакции СНиП плоскость максимального увлажнения является основой для оценки влагозащитных свойств ограждающей конструкции.

В соответствии с п. 8 СП 50.13330.2012 защита от переувлажнения ограждающих конструкций должна обеспечиваться путем проектирования ограждающих конструкций с сопротивлением паропрооницанию внутренних слоев не менее требуемого значения:

$$R_v^{des} \geq R_v^{req}, \quad (5)$$

где R_v^{des} – расчетное сопротивление паропрооницанию в пределах от внутренней поверхности до плоскости максимального увлажнения; R_v^{req} – требуемое сопротивление паропрооницанию, равное:

$$R_v^{req} = \max(R_{v1}^{req}, R_{v2}^{req}), \quad (6)$$

где R_{v1}^{req} – требуемое сопротивление паропрооницанию из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации; R_{v2}^{req} – требуемое сопротивление паропрооницанию из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период влагонакопления.

Методика расчета R_{v1}^{req} и R_{v2}^{req} подробно рассмотрена в СП 50.13330.2012. Согласно этой методике выполнен расчет защиты от влаги при параметрах, приведенных в таблице 4. Рассмотрены два варианта расчета, с различным расположением плоскости максимального увлажнения: 1 – $x = 0,095$; 2 – $x = 0,325$.

Таблица 4 – Параметры для расчета защиты от влаги ограждающей конструкции согласно СП 50.13330.2012

Наименование показателя	Обозначение, ед. изм.	Значение показателя по вариантам расчета	
		1	2
Парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха	e_{int} , Па	1273	1273
Среднее парциальное давление водяного пара наружного воздуха: за годовой период за период влагонакопления	e_{ext} , Па	800	800
	e_{ext0} , Па	388	388
Продолжительность периода влагонакопления	z_0 , сут	122	122
Парциальное давление насыщенного водяного пара в плоскости максимального увлажнения: за годовой период эксплуатации за период влагонакопления	E , Па	1548	1369
	E_0 , Па	794	501
Плотность материала увлажняемого слоя	ρ_w , кг/м ³	30	30
Сопротивление паропрооницанию между наружной поверхностью ограждающей конструкции и плоскостью максимального увлажнения	R_v^{se} , м ² ·ч·Па/мг	8,58	1,32
Толщина увлажняемого слоя: пенополистирол железобетон пенополистирол цементно-песчаный раствор	δ_w , м	0,08	
		0,2	
			0,03
			0,02
Предельно допустимое приращение влажности в материале увлажняемого слоя за период влагонакопления: пенополистирол железобетон пенополистирол цементно-песчаный раствор	Δw , % М	25	
		2	
			25
			2

Результаты расчета влагозащитных свойств ограждающей конструкции согласно СП 50.13330.2012 приведены в табл. 5.

Таблица 5 – Влагозащитные свойства ограждающей конструкции

Наименование показателя	Обозначение, ед. изм.	Значение показателя по вариантам расчета	
		1	2
Требуемое сопротивление паропрооницанию: из условия недопустимости накопления влаги в ограждающей конструкции за годовой период эксплуатации из условия ограничения влаги в ограждающей конструкции за период влагонакопления	R_{v1}^{req} , м ² ·ч·Па/мг	-3,16	-0,222
	R_{v2}^{req} , м ² ·ч·Па/мг	2,81	6,11
Расчетное сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции	R_v^{des} , м ² ·ч·Па/мг	1,74	9,00

Расчет показывает, что если принять плоскость максимального увлажнения по первому варианту ($x = 0,095$), то требование защиты от влаги согласно СП 50.13330.2012 не выполняется. Конструкция подвержена переувлажнению в период влагонакопления. По расчету требуется устройство дополнительного пароизоляционного слоя, что приводит к повышению стоимости конструкции.

Если принять плоскость максимального увлажнения по второму варианту ($x = 0,325$), то требование защиты от влаги согласно СП 50.13330.2012 выполняется.

Таким образом, различный выбор расположения плоскости максимального увлажнения дает различные влагозащитные характеристики ограждающей конструкции. Неоднозначность выбора плоскости максимального увлажнения согласно актуализированной редакции СНиП «Тепловая защита зданий» приводит к противоречивым результатам и затрудняет работу проектировщика.

Автором разработан инженерный метод определения плоскости наибольшего увлажнения для широкого класса ограждающих конструкций на основе теории потенциала влажности [12]. Этот метод позволяет определить наиболее опасное, с точки зрения влажностного режима, сечение ограждающей конструкции. Метод позволяет производить расчет многослойных ограждающих конструкций в широком диапазоне влажности и температуры, при стационарных условиях влаготеплопереноса. Наглядность и простота метода делает его доступным широкому кругу специалистов. В отличие от СП 50.13330.2012 разработанный метод может быть применен к расчету влажностного режима ограждающих конструкций с мультizonальной конденсацией влаги.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Богословский, В.Н. Основы теории потенциала влажности материала применительно к наружным ограждениям оболочки зданий [Текст]: монография. М.: МИСИ-МГСУ, 2013. – 112 с.
2. Фокин, К.Ф. Строительная теплотехника ограждающих частей зданий [Текст] / К.Ф. Фокин. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. – 256 с.
3. Блэзи, В. Справочник проектировщика. Строительная физика [Текст] / В. Блэзи. – М.: Техносфера, 2012. – 616 с.
4. Künzel H.M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart: IRB Verl., 1995.
5. Куприянов, В.Н. Паропроницаемость и проектирование ограждающих конструкций [Текст] / В.Н. Куприянов, И.Ш. Сафин // Academia. Архитектура и строительство. – 2010. – №3. – С. 385-390.

6. Вытчиков, Ю.С. Определение плоскости конденсации для многослойных ограждающих конструкций [Текст] / Ю.С. Вытчиков // Строительные материалы. – 2006. – №4. – С. 92-94.
7. Гагарин, В.Г. Требования к теплозащите и энергетической эффективности в проекте актуализированного СНиП «Тепловая защита зданий» [Текст] / В.Г. Гагарин, В.В. Козлов // Жилищное строительство. – 2011. – №8. – С. 2-6.
8. Марсов, В.И. Технология монолитного домостроения с использованием несъемной опалубки [Текст] / В.И. Марсов, М.Ш. Минцаев, И.Б. Асхабов // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета. – 2009. – №2. – С. 38-41.
9. Шубин, И.Л. Теплозащитные свойства и воздухопроницаемость керамических блоков «Изотеркс» в кладке стены [Текст] / И.Л. Шубин, А.И. Ананьев // Промышленное и гражданское строительство. – 2013. – №3. – С. 57-59.
10. Ярмаковский, В.Н. Теплоэффективные наружные стены зданий, возводимые с использованием монолитного полистиролбетона с высокопоризованной и пластифицированной матрицей [Текст] / В.Н. Ярмаковский, А.Н. Костин, О.В. Фотин, А.Е. Кондюрин // Жилищное строительство. – 2014. – №6. – С. 18-23.
11. Корниенко, С.В. Повышение тепловой защиты при реконструкции храма Сергия Радонежского в Волгограде [Текст] / С.В. Корниенко // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2014. – №5 (20). – С. 39-53.
12. Корниенко, С.В. Инженерный метод определения плоскости наибольшего увлажнения для ограждающих конструкций [Текст] / С.В. Корниенко // Строительные материалы. – 2007. – №6. – С. 50-51.

Корниенко Сергей Валерьевич

Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, г. Волгоград

Кандидат технических наук, доцент

Тел.: +7 (8442) 96-98-16

E-mail: svkorn2009@yandex.ru

S. KORNIYENKO

ABOUT APPLICABILITY OF SP 50.13330.2012 METHOD TO CALCULATION OF A MOISTURE CONDITIONS OF ENCLOSING STRUCTURES WITH MULTI-ZONE MOISTURE CONDENSATION

It is shown that the method of revised edition SNiP «Thermal performance of buildings» (SP 50.13330.2012) isn't applicable to calculation of a moisture conditions of enclosing structures with multi-zone moisture condensation. Ambiguity of a choice of the plane of the maximum damping according SP 50.13330.2012 leads to inconsistent results in an assessment of moisture performance properties of enclosing structure and complicates work of the designer.

Keywords: *SP 50.13330.2012, multi-zone moisture condensation, plane of the maximum damping, vapor permeability, moisture potential.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bogoslovskij, V.N. Osnovy teorii potentsiala vlazhnosti materiala primenitel'no k naruzhnym ograzhdenijam obolochki zdaniy [Tekst]: monografija. M.: MISI-MGSU, 2013. – 112 s.
2. Fokin, K.F. Stroitel'naja teplotehnika ograzhdajushhih chastej zdaniy [Tekst] / K.F. Fokin. – M.: AVOK-PRESS, 2006. – 256 s.
3. Bljezi, V. Spravochnik proektirovshhika. Stroitel'naja fizika [Tekst] / V. Blezi. – M.: Tehnosfera, 2012. – 616 s.
4. Künzel H.M. Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components: One- and two-dimensional calculation using simple parameters. Stuttgart: IRB Verl., 1995.
5. Kuprijanov, V.N. Paropronicaemost' i proektirovanie ograzhdajushhih konstrukcij [Tekst] / V.N. Kuprijanov, I.Sh. Safin // Academia. Arhitektura i stroitel'stvo. – 2010. – №3. – S. 385-390.

6. Vytechikov, Ju.S. Opredelenie ploskosti kondensacii dlja mnogoslojnyh ograzhdajushhih konstrukcij [Tekst] / Ju.S. Vytechikov // Stroitel'nye materialy. – 2006. – №4. – S. 92-94.
7. Gagarin, V.G. Trebovanija k teplozashhite i jenergeticheskoj jeffektivnosti v proekte aktualizirovannogo SNiP «Teplovaja zashhita zdanij» [Tekst] / V.G. Gagarin, V.V. Kozlov // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2011. – №8. – S. 2-6.
8. Marsov, V.I. Tehnologija monolitnogo domostroenija s ispol'zovaniem nes#emnoj opalubki [Tekst] / V.I. Marsov, M.Sh. Mincaev, I.B. Ashabov // Vestnik Moskovskogo avtomobil'no-dorozhnogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2009. – №2. – S. 38-41.
9. Shubin, I.L. Teplozashhitnye svojstva i vozduhopronicaemost' keramicheskix blokov «Izotereks» v kladke steny [Tekst] / I.L. Shubin, A.I. Anan'ev // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2013. – №3. – S. 57-59.
10. Jarmakovskij, V.N. Teplojeffektivnye naruzhnye steny zdanij, vozvodimye s ispol'zovaniem monolitnogo polistirolobetona s vysokoprizovannoj i plastificirovannoj matricej [Tekst] / V.N. Jarmakovskij, A.N. Kostin, O.V. Fotin, A.E. Kondjurin // Zhilishhnoe stroitel'stvo. – 2014. – №6. – S. 18-23.
11. Kornienko, S.V. Povyshenie teplovoj zashhity pri rekonstrukcii hrama Sergija Radonezhskogo v Volgograde [Tekst] / S.V. Kornienko // Stroitel'stvo unikal'nyh zdanij i sooruzhenij. – 2014. – №5 (20). – S. 39-53.
12. Kornienko, S.V. Inženernyj metod opredelenija ploskosti naibol'shego uvlazhnenija dlja ograzhdajushhih konstrukcij [Tekst] / S.V. Kornienko // Stroitel'nye materialy. – 2007. – №6. – S. 50-51.

S. Kornienko

Volgograd state university of architecture and civil engineering, Volgograd

Candidate of technical sciences, associate professor

Ph.: +7 (8442) 96-98-16

E-mail: svkorn2009@yandex.ru

ЛЮБОМИРСКИЙ Н.В., РОДИН С.В.,
КОРЕНЬКОВ П.А., АБСЕЛЯМОВ Р.С.

АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ПРОГРЕССИРУЮЩЕГО ОБРУШЕНИЯ МОНОЛИТНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО КАРКАСА 19-ТИЭТАЖНОГО ЖИЛОГО ДОМА В Г. ЕВПАТОРИЯ

Систематизированы существующие методы защиты зданий от прогрессирующего обрушения. Дана оценка опасности прогрессирующего обрушения объекта исследования. Проанализирована работа монолитного железобетонного каркаса здания при внезапном отказе отдельных несущих конструктивных элементов численным и аналитическим методами.

Ключевые слова: прогрессирующее обрушение, непропорциональное разрушение, живучесть конструктивных систем, устойчивость, отказы несущих конструкций, пространственная нелинейная модель.

Постановка проблемы

Научно-технический прогресс в разных областях науки, в том числе и строительстве, определяет новый уровень конструктивной безопасности и живучести зданий при воздействии на них силовых и средовых факторов, включая аварийные. Одним из свойств здания, которое закладывается на стадии проектирования, обеспечивающее безопасность его эксплуатации, – способность конструктивной системы здания противодействовать прогрессирующему (лавинообразному, непропорциональному) обрушению. С увеличением этажности здания, его ответственности необходимость в расчете и принятии конструктивных мер, закладываемых в него это свойство, растет все более. В последнее время в отечественной нормативной базе этому вопросу начинает уделяться большее внимание, но на сегодняшний день он находится на стадии становления. Достаточно мало имеется опубликованных за последнее время статей и исследований на тему живучести зданий. Практическая плоскость этого вопроса нуждается в создании надежных, апробированных алгоритмов и методов расчета.

Анализ публикаций

Систематизируя методы по предотвращению прогрессирующего обрушения, отраженные в нормативных документах разных стран [1-9], можно выделить два общих: прямой метод и косвенный метод.

1. Прямой метод проектирования.

1.1. Метод альтернативного пути нагружения

Согласно этому методу, необходимо выполнить требование, чтобы конструктивная система не теряла несущую способность в случае удаления отдельных элементов при аварийных воздействиях. Конструктивную систему проектируют так, чтобы перекрыть потерю одного или нескольких несущих элементов, обеспечивая альтернативные пути передачи нагрузок за счет перераспределения усилий, ограничивая и локализуя область повреждения. Принимают допустимую минимальную площадь или объем повреждения сооружения. Работа всей конструкции может быть проанализирована путем удаления в расчетной схеме одного или нескольких элементов, с одновременной проверкой возможности лавинообразного обрушения. Однако практически весьма сложно обосновать отвлеченное удаление того или иного элемента, выбрать наиболее значимый элемент среди большого числа возможных локальных повреждений и определить допустимые количественные критерии повреждений.

1.2. Метод особой локальной прочности

Необходимо выполнить требование, чтобы здание противостояло заданным аварийным воздействиям или угрозам. В этом случае прочность, целостность и жесткость конструктив-

ных «ключевых» элементов, способных в дополнение к существующим нагрузкам воспринимать аварийные воздействия, обеспечивается их усилением. Этот вариант предполагает обязательное нормирование интенсивности аварийного воздействия.

2. Косвенный метод проектирования

2.1. Превентивные мероприятия

Мероприятия, исключая или уменьшающие влияние аварийных воздействий и потенциальной опасности в целом за счет применения превентивных или организационных мероприятий. Примером исключения воздействия от ударов транспортными средствами может быть устройство защитных барьеров или планировочные и организационные мероприятия, исключая неконтролируемый подъезд автомобилей. Примером снижения уровня воздействия от взрыва газа является устройство проемов и легкобрасываемых ограждающих конструкций.

2.2. Конструктивные мероприятия

Это такие мероприятия, которые повышают устойчивость системы к возникновению лавинообразного обрушения. К ним относятся: избыточное повышение степени статической неопределимости системы; обеспечение пластической работы конструкций, прочной анкеровки связующих элементов, не допускающей хрупкого разрушения; выбор конструктивной системы, малочувствительной к чрезвычайным воздействиям; проектирование конструктивной системы так, чтобы при потере несущей способности одного или нескольких элементов обеспечивался альтернативный путь передачи нагрузок за счет перераспределения усилий.

Вышеперечисленные методы могут использоваться как по отдельности, так и в сочетании друг с другом. Поэтому кроме этих частных методов можно выделить некоторый комплексный метод анализа, учитывающий вероятность и величину возможных чрезвычайных воздействий, и вероятную тяжесть их последствий. Для минимизации величины ущерба при оптимальном снижении затрат на защитные мероприятия используются методы оценки риска для технических систем.

Цель и постановка задач исследования

Цель исследования – дать оценку опасности прогрессирующего обрушения исследуемого объекта и проанализировать работу монолитного каркаса здания повышенной этажности при отказе его отдельных несущих элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи**:

1. Реализовать численный расчет здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению с использованием пространственной нелинейной модели.
2. Произвести аналитический расчет здания на устойчивость к прогрессирующему обрушению кинематическим методом теории предельного равновесия.
3. Проанализировать и сопоставить результаты расчетов.

Методика исследования

В работе рассматривается 19-тиэтажное жилое здание со сложным архитектурно-планировочным решением. Точечный дом имеет размеры в осях 25,4×24,6 м. Высота здания от уровня земли до верха крыши 77,75 м. Девятнадцать основных этажей здания жилые, также имеется технический чердак и цокольный этаж. Общий вид здания и планы представлены на рисунке 1.

Конструктивная схема здания представлена неполным (каркасно-стеновым) железобетонным монолитным каркасом. Сечения вертикальных несущих конструкций принимались на основании предварительных расчетов. Толщина стен – 200 мм, сечения колонн – 400×400, угловых – 500×500 мм. Толщина плит перекрытий и покрытия – 200 мм. В качестве фундамента здания принята монолитная фундаментная плита толщиной 1,5 м. Все несущие конструкции здания выполнены из тяжелого бетона класса С30/35. Рабочая арматура А500 [10, 11].

Нормативные равномерно распределенные нагрузки на перекрытие: собственный вес – 5 кН/м^2 ; вес полов – $0,9 \text{ кН/м}^2$; вес временных перегородок – 2 кН/м^2 ; длительная временная нагрузка от людей – $0,35 \text{ кН/м}^2$. Полная равномерно распределенная нагрузка – $8,25 \text{ кН/м}^2$. Вес остекления фасада – $1,3 \text{ кН/м}$; вес ограждения балконов – 2 кН/м [12].

Для оценки устойчивости здания против прогрессирующего обрушения рассмотрены несколько из наиболее опасных вариантов отказа несущих вертикальных элементов (три гипотетические схемы разрушения). Проводился расчет в нелинейной постановке трех моделей с учетом физической и геометрической нелинейностей в ПК ЛИРА согласно [8, 9] и три расчета с помощью кинематического метода теории предельного равновесия согласно рекомендациям [7]. Каждая из моделей учитывает отказ одной из трех удаляемых вертикальных конструкций (#1, #2, #3). На рисунке 1 показаны удаляемые конструкции.

Нелинейный расчет на прогрессирующее обрушение с использованием ПК «Лира 9.6» реализован по следующему алгоритму

1) Формируется нелинейная модель:

- проводится статический и динамический расчет унифицированной модели с учетом сейсмичности площадки 7 баллов для определения напряженно-деформированного состояния конструкций;

- по РСУ осуществляется подбор армирования в модуле «Лир-АРМ» с последующим импортом подобранного армирования в модуль «Лир-Визор», после чего происходит корректировка законов нелинейного деформирования материалов и площадей арматурных включений расчетной модели.

2) Проводится расчет на живучесть:

- выполняется расчет нелинейной модели для комбинации загрузок, включающей постоянные нагрузки и длительные части временных нагрузок для определения реакций в узлах, вышедших из строя элементов;

- к расчетной модели прикладываются два нагружения: первое моделирует постоянные и длительные нагрузки на конструкцию, второе позволяет учесть коэффициент динамичности равный 1,2 [8, 9]. Для этого в верхний узел (верхние узлы) разрушенной конструкции прикладывается усилие, составляющее 20% от усилия в этой конструкции, возникающего при действии нагрузок из первого нагружения. При этом коэффициенты сочетаний нагрузок и коэффициенты надежности по нагрузке принимаются равными единице;

- с помощью системы «Монтаж плюс» моделируется обрушение. Формируется две стадии: в первую входят все элементы конструкции без исключения; во второй в качестве демонтируемого элемента принимается разрушаемая конструкция.

Для трех рассматриваемых схем разрушения проведен аналитический расчет кинематическим методом теории предельного равновесия.

Согласно этому методу для конструктивной системы, имеющей пластичную работу в предельном состоянии, устойчивость к прогрессирующему обрушению обеспечивается, если работа внешних нагрузок не превышает работы внутренних усилий на возможных перемещениях рассматриваемых механизмов обрушения.

При каждом выбранном локальном разрушении были рассмотрены все указанные ниже возможные механизмы прогрессирующего обрушения применительно к рассматриваемой конструктивной схеме, для первой схемы разрушения (#1) на рисунках 2, 3 приведены рассмотренные механизмы прогрессирующего обрушения:

I механизм характеризуется одновременным поступательным смещением вниз всех вертикальных конструкций, расположенных над локальным разрушением;

II механизм характеризуется одновременным поворотом каждой конструктивной части здания, расположенной над локальным разрушением, вокруг своего центра вращения;

III механизм характеризуется обрушением участка перекрытия, расположенного непосредственно над выбитой вертикальной конструкцией и первоначально на нее опертого;

IV механизм характеризуется перемещением конструкций в пределах одного этажа, расположенного непосредственно над выбитым вертикальным элементом.

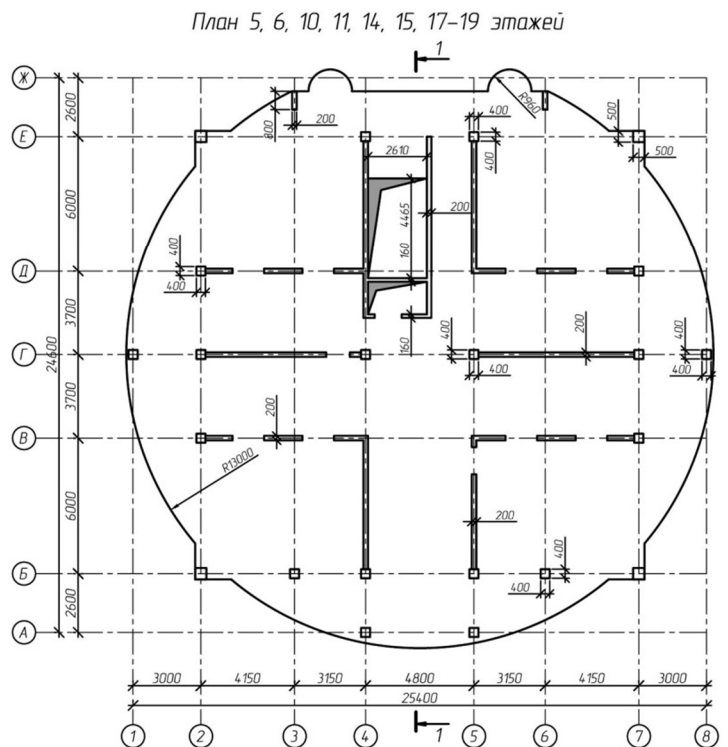
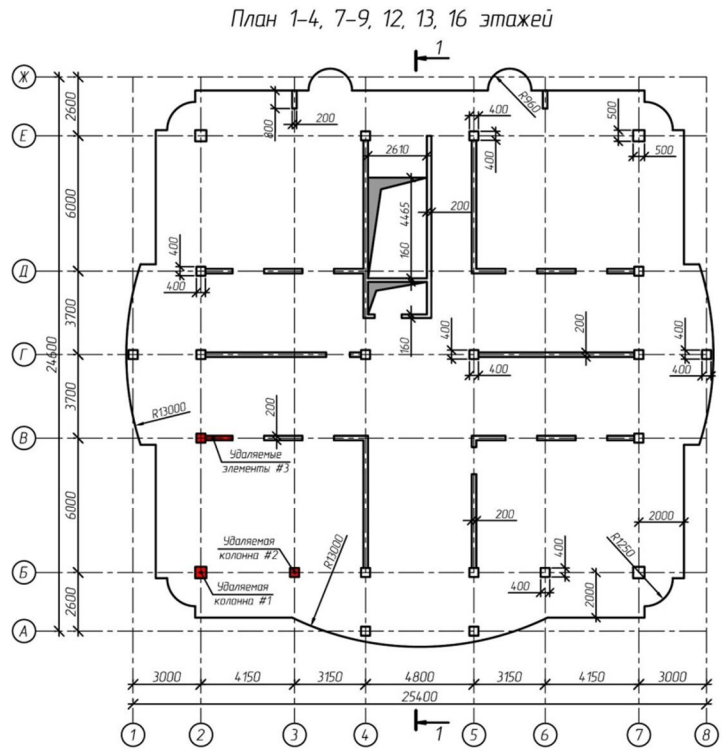


Рисунок 1 – Общий вид здания, планы этажей

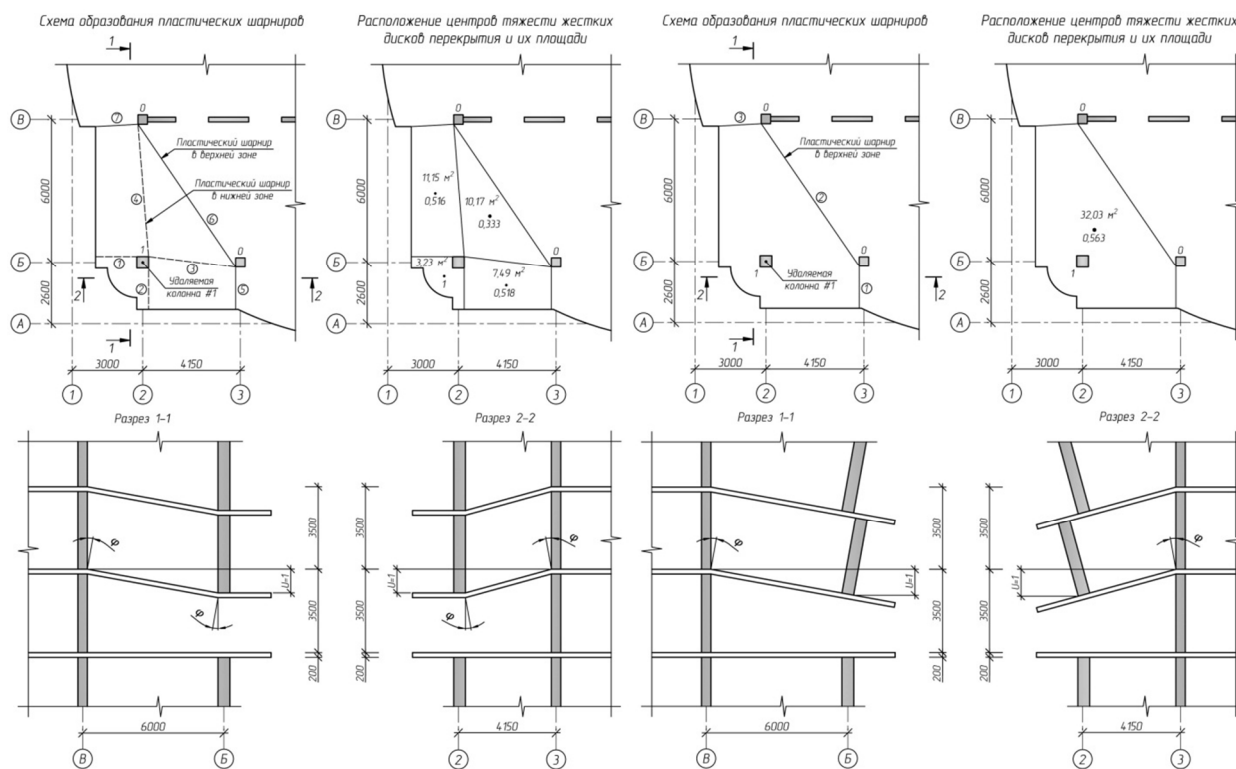


Рисунок 2 – Механизмы прогрессирующего обрушения: слева – первого типа, справа – второго

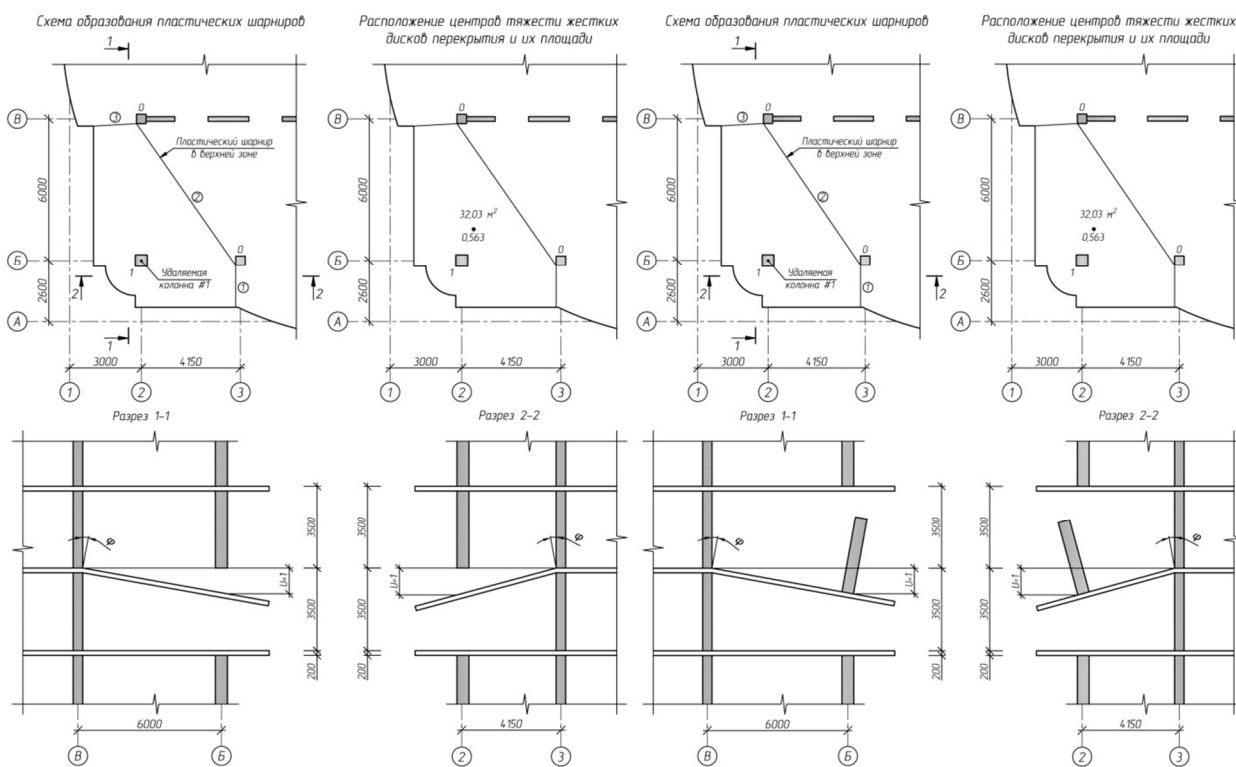


Рисунок 3 – Механизмы прогрессирующего обрушения: слева – третьего типа, справа – четвертого

Результаты и их анализ

Численный расчет пространственной нелинейной модели показал:

1) Устойчивость здания, запроектированного с учетом сейсмичности 7 баллов, к прогрессирующему обрушению обеспечивается. На рисунке 4 показаны деформированные модели и изополю перемещений для трех рассматриваемых схем разрушения.

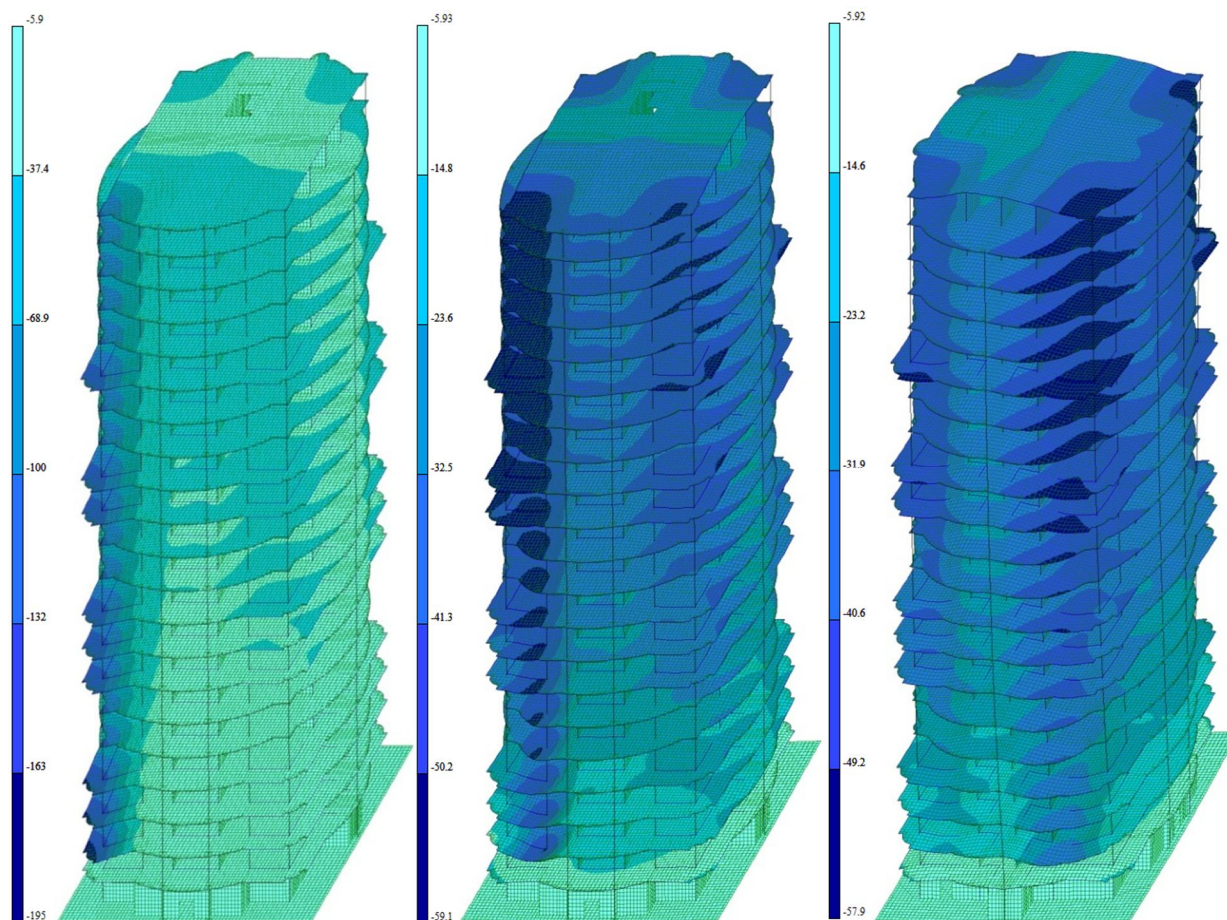


Рисунок 4 – Деформированные модели и изополю перемещений по оси Z (мм) для трех схем разрушения (1#, #2, #3) соответственно

2) На рисунке 5 показан график максимальных относительных перемещений перекрытий над центром тяжести удаляемой колонны в осях 2/Б в момент ее удаления. График представлен ниспадающей ветвью с затухающим уменьшением деформаций по высоте здания. Перекрытия верхних этажей имеют близкие по значению деформации и меньшие по сравнению с перекрытиями нижних. Таким образом, наибольшие относительные перемещения имеют перекрытия нижних этажей, это указывает на возникновение в них больших напряжений, чем в перекрытиях верхних. Это обуславливается эффектом динамичности, влияние которого уменьшается по высоте. Такие же графики были получены для остальных схем разрушения.

3) При увеличении коэффициента динамичности разрушения наступали при следующих его значениях: по первой схеме при $\gamma = 1,3$; по второй при $\gamma = 1,35$; по третьей при $\gamma = 1,29$. С точки зрения разрушения перекрытий наиболее опасной оказалась первая схема, с точки зрения разрушения вертикальных конструкций – третья (происходит разрушение оставшегося участка стены первого этажа, перекрытия первично не разрушаются).

4) Уменьшением площади армирования была найдена минимальная площадь, обеспечивающая устойчивость к прогрессирующему обрушению: для первой схемы разрушения – $1,47 \text{ см}^2$ вдоль осей X и Y в верхней и нижней зоне; для второй – $1,2 \text{ см}^2$. Это говорит о запасе несущей способности перекрытий, имеющих фоновое армирование $3,93 \text{ см}^2$.

5) По основным направлениям образования трещин можно получить расчетную схему разрушения перекрытий, поскольку направление трещин в предельном состоянии определяет

линию возникновения пластического шарнира. Такая схема разрушения будет соответствовать первому механизму прогрессирующего обрушения при решении задачи кинематическим методом теории предельного равновесия. Таким образом, схемы развития трещин могут быть исходными данными для задания схем разрушения.

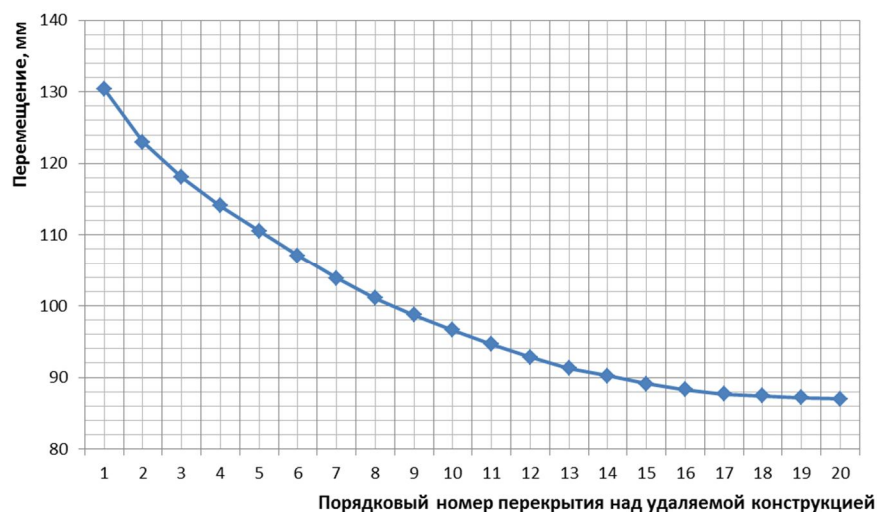


Рисунок 5 – График максимальных относительных перемещений перекрытий над центром тяжести удаляемой колонны в осях 2/Б в момент ее удаления

Аналитический расчет с помощью кинематического метода теории предельного равновесия дал следующие результаты:

- 1) Защищенность здания от прогрессирующего обрушения обеспечивается.
- 2) Из первых двух схем разрушения наиболее опасной выявилась первая. Для этих схем были посчитаны минимальные площади армирования, обеспечивающие устойчивость к прогрессирующему обрушению. Для первой схемы – $2,6 \text{ см}^2$, для второй $1,42 \text{ см}^2$.
- 3) В третьей схеме сопротивляется прогрессирующему обрушению не только перекрытие, но и надпроемная часть стены, которая имеет достаточную прочность. Главным критерием возникновения прогрессирующего обрушения по этой схеме будет потеря устойчивости стены. И об этом свидетельствует численный расчет, который показал, что при увеличении коэффициента динамичности разрушение наступает в стене первого этажа.

Выводы

- 1) Результаты, полученные разными методами, показывают обеспечение стойкости к прогрессирующему обрушению рассматриваемого здания.
- 2) Наибольшие относительные перемещения имеют первые этажи, что указывает на возникновение в них больших усилий, чем в вышележащих. Это обуславливается эффектом динамичности, влияние которого уменьшается по высоте. Для первой схемы разрушения относительные перемещения в первом перекрытии больше в 1,5 раза, чем в последнем, для второй – в 5 раз, для третьей – в 3,4 раза.
- 3) Расчет в ПК Лира и расчет кинематическим методом теории предельного равновесия выявили первую схему из трех рассмотренных как наиболее опасную с точки зрения разрушения перекрытий, третью – с точки зрения разрушения вертикальных конструкций.
- 4) Таким образом, численный расчет дал более экономичные результаты: в первом случае на 43%, во втором на 15%. Это объясняется тем, что ПК Лира имеет возможность учитывать перераспределение усилий в случае появления пластических шарниров, разрушения элементов, а также пространственную работу здания. Методика расчета кинематическим методом теории предельного равновесия этого не учитывает.
- 5) Анализ результатов расчета по обоим методам позволяет находить наиболее уязвимые места в конструкциях, характер их разрушения, что дает возможность эффективно принимать соответствующие меры по их усилению, в случае необходимости.

6) Полученные данные сопоставимы с результатами, опубликованными ранее авторами и другими исследователями [13-15].

7) Практика проектирования свидетельствует об острой необходимости простых инженерных решений, не требующих детального анализа каждой конкретной конструкции. Решение вышеперечисленных задач носит разносторонний характер и требует проведения дальнейших исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. BS EN 1991-1-7:2006 Eurocode 1 – Actions on structures. Part 1-7: General actions – Accidental actions. – 2010. – 67 p.
2. BS EN 1990:2002+A1:2005 Eurocode – Basis of structural design. – 2005. – 117 p.
3. ASCE 7-02. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002 edition. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002. – 419 p.
4. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense US A, 2005 – 227 p.
5. СТБ ЕН 1990-2007 Еврокод. Основы проектирования несущих конструкций [Текст]. – Минск. – 2007. – 57 с.
6. МДС 20-2.2008. Временные рекомендации по обеспечению безопасности большепролетных сооружений от лавинообразного обрушения [Текст] / ФГУП «НИЦ «Строительство». – М.: ОАО «ЦПП», 2008. – 16 с.
7. Рекомендации по защите высотных зданий от прогрессирующего обрушения [Текст]. – М., 2006. – 34 с.
8. ДБН В.2.2-24 2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків [Текст]. – К., Укрархбудинформ, 2006. – 105 с.
9. ДБН В.1.2-14-2009 Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель, споруд, будівельних конструкцій та основ. – К., Мінрегіонбуд України, 2009. – 37 с.
10. ДБН В 2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 75 с.
11. ДСТУ Б В.2.6-156:2010 Бетонні та залізобетонні конструкції з важкого бетону. Правила проектування. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 172 с.
12. ДБН В.1.2-2:2006. Нагрузки и воздействия [Текст] / Минстрой Украины. – К.: Издательство «Сталь», 2006. – 60 с.
13. Назаров, Ю.П. К проблеме обеспечения живучести строительных конструкций при аварийных воздействиях [Текст] / Ю.П. Назаров, А.С. Городецкий, В.Н. Симбиркин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2009. – №4. – С. 5-9.
14. Гензерский, Ю.В. Методика расчета зданий на прогрессирующее обрушение [Текст] / Ю.В. Гензерский // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сб. науч. трудов. – Дн-вск: ПГАСА, 2012. – Вып. 65. – С. 161-166.
15. Кореньков, П. Практическая реализация расчетов на стойкость к прогрессирующему обрушению жилого комплекса в г. Симферополь на базе численного моделирования несущих систем [Текст] / Борис Пушкарев, Михаил Васильев, Павел Кореньков // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2014. – Vol. 16, № 5. – p. 91-95.

Любомирский Николай Владимирович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Доктор технических наук, доцент, проректор по научной работе и инновационной деятельности
E-mail: niklub.ua@gmail.com

Родин Станислав Владимирович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Железобетонные конструкции»
E-mail: sv_rodin@mail.ru

Кореньков Павел Анатольевич

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Ассистент кафедры «Железобетонные конструкции»
E-mail: kpa_gbk@mail.ru

Абселямов Рустем Серанович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Магистр
E-mail: najmun@mail.ru

N. LYUBOMIRSKY, S. RODIN, P. KORENKOV, R. ABSELYAMOV

HAZARD ANALYSIS PROGRESSIVE COLLAPSE OF MONOLITHIC REINFORCED CONCRETE FRAME 19-STOREY RESIDENTIAL BUILDING IN THE CITY OF EVPATORIA

Systematized existing methods of protecting buildings against progressive collapse. The estimation of the danger of progressive collapse of the object of study. The operation of a monolithic reinforced concrete frame building with a sudden failure of the individual carriers of structural elements by numerical and analytical methods.

Keywords: *progressive collapse, disproportionate destruction, persistence of structural systems, sustainability, failures bearing structures, the nonlinear model.*

BIBLIOGRAPHY

1. BS EN 1991-1-7:2006 Eurocode 1 – Actions on structures. Part 1-7: General actions – Accidental actions. – 2010. – 67 p.
2. BS EN 1990:2002+A1:2005 Eurocode – Basis of structural design. – 2005. – 117 p.
3. ASCE 7-02. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, 2002 edition. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2002. – 419 p.
4. UFC 4-023-03. Unified Facilities Criteria (UFC). Design of Buildings to Resist Progressive Collapse. Department of Defense US A, 2005 – 227 p.
5. STB EN 1990-2007 Evrokod. Osnovy proektirovaniya nesushhih konstrukcij [Tekst]. – Minsk. – 2007. – 57 s.
6. MDS 20-2.2008. Vremennye rekomendacii po obespecheniju bezopasnosti bol'sheproletnyh sooruzhenij ot lavinoobraznogo obrusheniya [Tekst] / FGUP «NIC «Stroitel'stvo». – M.: OAO «CPP», 2008. – 16 s.
7. Rekomendacii po zashhite vysotnyh zdaniy ot progressirujushhego obrusheniya [Tekst]. – M., 2006. – 34 s.
8. DBN V.2.2-24 2009. Proektuvannja visotnih zhitlovih i gromads'kih budinkiv [Tekst]. – K., Ukrarhbuildinform, 2006. – 105 s.
9. DBN V.1.2-14-2009 Zagal'ni principii zabezpechennja nadijnosti ta konstruktivnoi bezpeki budivel', sporud, budivel'nih konstrukcij ta osnov. – K., Minregionbud Ukraïni, 2009. – 37 s.
10. DBN V 2.6-98:2009 Betonni ta zalizobetonni konstrukcii. – K.: Minregionbud Ukraïni, 2011. – 75 s.
11. DSTU B V.2.6-156:2010 Betonni ta zalizobetonni konstrukcii z vazhkogo betonu. Pravila proektuvannja. – K.: Minregionbud Ukraïni, 2010. – 172 s.
12. DBN V.1.2-2:2006. Nagruzki i vozdeystvija [Tekst] / Ministroj Ukrainy. – K.: Izdatel'stvo «Stal'», 2006. – 60 s.
13. Nazarov, Ju.P. K probleme obespechenija zhivuchesti stroitel'nyh konstrukcij pri avarijnyh vozdeystvijah [Tekst] / Ju.P. Nazarov, A.S. Gorodeckij, V.N. Simbirkin // Stroitel'naja mehanika i raschet sooruzhenij. – 2009. – №4. – S. 5-9.
14. Genzerskij, Ju.V. Metodika rascheta zdaniy na progressirujushhee obrushenie [Tekst] / Ju.V. Genzerskij // Stroitel'stvo, materialovedenie, mashinostroenie. Sb. nauch. trudov. – Dn-vsk: PGASA, 2012. – Vyp. 65. – S. 161-166.
15. Koren'kov, P. Prakticheskaja realizacija raschetov na stojkost' k progressirujushhemu obrusheniju zhilogo kompleksa v g. Simferopol' na baze chislennogo modelirovaniya nesushhih sistem [Tekst] / Boris Pushkarjov, Mihail Vasil'ev, Pavel Koren'kov // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2014. – Vol. 16, № 5. – p. 91-95.

N. Lyubomirskij

National academy of environmental and resort construction, Simferopol
Doctor of technical sciences, professor, pro-rector for research and innovation
E-mail: niklub.ua@gmail.com

S. Rodin

National academy of environmental and resort construction, Simferopol
Candidate of technical sciences, professor, head of the department «Reinforced concrete structures»
E-mail: sv_rodin@mail.ru

P. Korenkov

National academy of environmental and resort construction, Simferopol
Assistant of the department «Reinforced concrete structures»
E-mail: kpa_gbk@mail.ru

R. Abselyamov

National academy of environmental and resort construction, Simferopol
Master
E-mail: najmun@mail.ru

СИНЦОВ В.П., МИТРОФАНОВ В.А.

РАБОТА ЭЛЕМЕНТОВ ТРАНСПОРТНО-МОНТАЖНОЙ РАМЫ ДЛЯ ТРАНСПОРТИРОВКИ ПАЛУБЫ СТАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

В работе приведены результаты исследований напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов транспортно-монтажной рамы (ТМР) под многоярусную стальную палубу ледостойкой стальной платформы ЛСП. Разработана пространственная модель ТМР. Представлены результаты численных исследований НДС элементов ТМР при нагрузках на период надвигки палубы на ТМР, перемещение по площадке и надвигке ТМР на транспортную баржу (ТБ) и в период транспортировки по реке и морю.

Ключевые слова: ледостойкая стальная платформа, транспортно-монтажная рама, расчетная компьютерная модель.

Постановка задачи

Особенность освоения шельфовых месторождений углеводородов состоит в том, что гидротехнические сооружения (морские стальные стационарные платформы (МССП)) для обеспечения высокой надежности изготавливают на специализированных предприятиях (судостроительных или судоремонтных заводах либо заводах по производству металлоконструкций). Учитывая габариты и массу таких сооружений их при производстве делят на отправочные блоки – придонный блок (ПРБ), опорный блок (ОБ) и палубные конструкции, которые называются верхним строением палубы (ВСП).

В частности, для обустройства месторождения имени В. Филановского на шельфе Каспийского моря в 2014 году компания «Лукойл» планирует запустить первую очередь с четырьмя гидротехническими сооружениями [1, 2, 3]. Одним из основных гидротехнических сооружений является ледостойкая стальная платформа, которая состоит из двух стальных ледостойких опорных блоков. Опорные блоки объединены между собой многоярусной стальной палубой, на которой располагаются технологические кубрики, обсадные трубы, буровой станок [9, 10].

Монтажная масса палубных конструкций с технологическим оборудованием составляет 12000 тонн. Транспортировка данной конструкции к месту установки на шельфе планируется на транспортной барже грузоподъемностью 15000 тонн.

Для погрузки палубных конструкций с технологическим оборудованием на транспортную баржу и дальнейшей транспортировке морем необходима специальная стальная конструкция – транспортно-монтажная рама (ТМР).

ТМР разрабатывалась в два этапа. На первом этапе согласно концепции, предложенной заказчиком разработки, ТМР представляла собой пространственную систему перекрестных стальных балок коробчатого сечения высотой 6,5 метров, геометрическая неизменяемость системы обеспечивалась горизонтальными и вертикальными связями. Общая масса ТМР по первому варианту составила 1400 тонн.

На втором этапе заказчиком поставлена цель при сохранении всех прочностных и жесткостных характеристик элементов ТМР общая масса рамы не должна превышать 1000 тон. Для таких условий конструкция ТМР была разработана в виде системы перекрестных тяжелых ферм [5-10].

Цель расчета, создание расчетной модели

Процесс погрузки на ТМР с ВС на ТБ включает три последовательных этапа, которые и определяют действующие на элементы ТМР нагрузки: надвигка ВСП на ТМР, перемещение ТМР с установленной на ней ВСП по стройплощадке на специальных грузоподъемных устройствах – «скид-шузах» фирмы «МАММОЕТ» к причалу, перемещение по барже, с последующим закреплением «по морскому».

Дополнительные статические и динамические нагрузки на элементы ТМР учитывались при транспортировке ТМР с ВСП на ТБ по реке и морем с учетом ветра и качки [9].

ТМР, которая представляет собой систему перекрестных тяжелых ферм, образована следующими элементами (рис. 1):

- продольные фермы (ПрФ) по цифровым осям;
- поперечные фермы (ПФ) по буквенным осям;
- вертикальные связевые фермы (ВСФ) между фермами поперечными обеспечивают восприятие нагрузки от ВСП и геометрическую неизменяемость ТМР.
- горизонтальные связевые фермы (ГСФ) установленные в уровне верхних и нижних поясов ПрФ и ПФ.

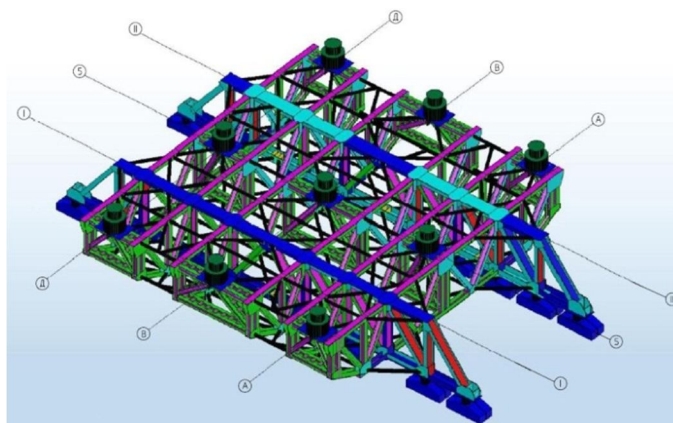


Рисунок 1 – Общий вид пространственной модели ТМР

Продольные и поперечные фермы запроектированы как тяжелые фермы с поясами из составных швеллеров и элементами решетки из составных двутавров. При этом были соблюдены требования по допустимой расцентровке элементов, сходящихся в один узел.

Поперечные фермы по длине выполнены с изменением высоты, что вызвано технологическими требованиями. Расположение в момент заводки транспортной баржи между опорными блоками ЛСП представлены на рисунке 2.

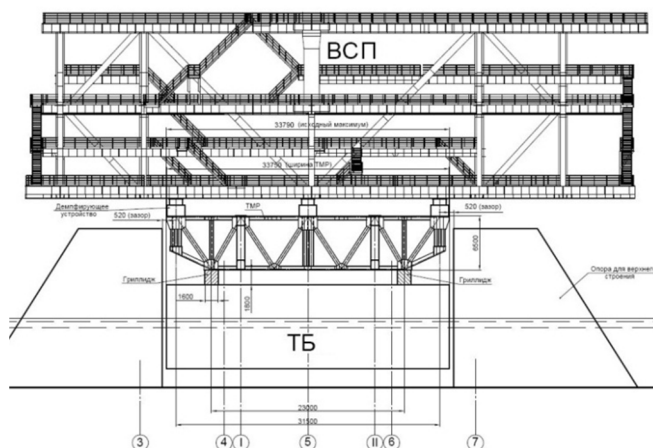


Рисунок 2 – Положение ТМР в момент заводки ВСП на точку установке в море на опорные блоки ЛСП

При компоновке поперечных сечений несущих и связевых элементов ТМР применялась листовая высокопрочная сталь с повышенными требованиями к условиям сварки в среде углекислого газа.

Расчетная модель соответствует требованиям Российского Морского Регистра Судоходства РМРС (Приложение 2, Часть II. Корпус МСП).

Модели выполнены в программном комплексе «Лира 9.6». При моделировании приняты следующие типы конечных элементов:

- для связевых элементов ГСФ - тип 10 пространственный стержень с осевой, сдвиговой, изгибной и крутильной жесткостью;
- для несущих элементов ПрФ, ПФ и ВСФ с сечениями в виде швеллера и двутавра два типа конечных элементов оболочки – 42 треугольный и 44 четырехугольный.

Количество узлов в модели – 275751, элементов – 274236.

Закрепления выполненной модели при разных нагрузках соответствовали фактическим:

- этап надвигки на ТМР от ВС ЦТП, закрепление НТМР выполнены внизу в местах контакта НТМР с домкратами. Нагрузка на ТМР приложена сверху в точках опирания на нее ВСП;
- этап перемещения по площадке на «скид-шузах», закрепление ТМР выполнены сверху в местах контакта с ВС ЦТП. Нагрузка на ТМР приложена снизу в виде опорных реакций домкратов – «скид-шузов»;
- этап транспортировки на барже по реке и далее по морю, закрепление ТМР выполнены внизу на опорные постаменты ТБ. Нагрузка на раму приложена сверху в точках опирания на нее ВСП с учетом динамических горизонтальных нагрузок от качки килевой и бортовой.

Нагрузки на модель ТМР разделены на две категории: весовые и вызываемые воздействием окружающей среды (не весовые). Каждая категория включает постоянные и переменные нагрузки. К постоянным нагрузкам относятся: собственный вес несущих и ограждающих конструкций. Переменные нагрузки разделяются на временные (длительные и кратковременные) – реакции от домкратов, ветровые и особые – динамические от качки.

Нагрузки моделировались в виде пакета сосредоточенных сил. Расчетная схема, назначение жесткостей, объединения перемещений, нагрузки задавались в редакторе «Расчетная схема. Лира 9.6».

Критерии предельной прочности. Результаты расчета

Проверка несущих элементов ферм (поясов, стенок – составных сечений) по напряжениям выполнены по следующим формулам п. 2.4.2.3; 2.4.2.4 РМРС (Приложение 2, Часть II. Корпус МСП).

При определении напряжений в расчетных сечениях элементов ферм по середине поля пластины, предельные критерии прочности в рабочем режиме и при транспортировке:

$$\sigma_x \leq \eta_1 \cdot R_d = 252 - 265 \text{ МПа},$$

$$\sigma_y \leq \eta_1 \cdot R_d = 252 - 265 \text{ МПа},$$

$$\tau_{xy} \leq 0,57 \cdot \eta_1 \cdot R_d = 144 - 151 \text{ МПа},$$

где $\sigma_x, \sigma_y, \tau_{xy}$ – комплексы напряжений в конструкции в рассматриваемой точке, каждый из которых учитывает совместное действие глобальных и локальных нагрузок;

$\eta_1 = 0,68$ – коэффициент безопасности (табл. 2.4.2.5 РМРС);

$R_d = 390 - 370 \text{ МПа}$ – расчетный предел текучести применяемой листовой высокопрочной стали с повышенными требованиями к условиям сварки в среде углекислого газа стали марки D40W при толщине стали соответственно 30 и $30 \leq t \leq 50$ мм.

Результаты расчета получены визуально в редакторе «Графический анализ. Лира 9.6» в виде мозаик перемещений узлов и мозаик напряжений в элементах оболочек и в виде таблиц напряжений в редакторе «Печать таблиц и Документирование. Лира 9.6» от расчетных сочетаний нагрузок (РСН) в количестве 10, которые учитывают все возможные комбинации действующих нагрузок [11].

На результаты расчета влияли сложные условия опирания ТМР при надвигке на транспортную баржу и далее при транспортировке морем при наличии килевой и боковой качки.

Для анализа уровня напряжений в элементах ТМР и перемещений ее узлов было одно из наихудших сочетаний нагрузок – РСН №8 (нагрузки на ТМР: собственный вес и собственный вес ВСП при транспортировке на барже морем с учетом составляющих от бортовой качки).

Наибольшие перемещения по оси Z получены при комбинации нагрузок по РСН №8 максимальная величина составила 33,6 мм в узлах опорных плит связевых ферм вдоль оси II. Это связано с тем, что центр масс ВСП, которое опирается на ТМР смещен, в сторону оси II на 2,0 м, результаты представлены на рисунке 3.

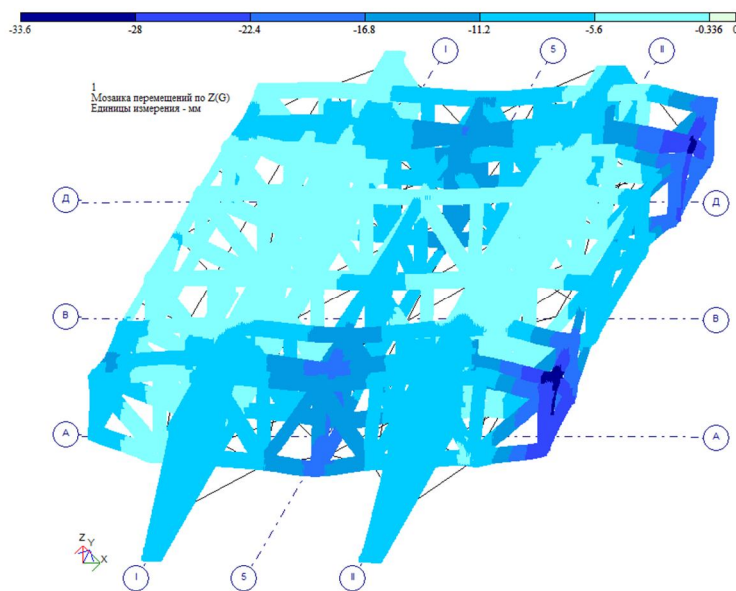


Рисунок 3 – Перемещения по оси Z получены при комбинации нагрузок по РСН №8

При анализе результатов расчетов по мозаикам напряжений в деформированной схеме (РСН №8) выявлены наиболее нагруженные элементы наиболее нагруженной поперечной фермы со следующими значениями продольных, поперечных нормальных и касательных напряжений $\sigma_x = -252 \dots +258 \text{ МПа}$, $\sigma_y = -238 \dots +231 \text{ МПа}$, $\tau_{xy} = -122 \dots +126 \text{ МПа}$, что ниже расчетного уровня допустимых напряжений. А максимальный прогиб на консольном участке составил - 22.4 мм, что составляет менее чем 1/400 вылета, а на срединном участке поперечной фермы в середине пролета прогиб составил – 14,62 мм, что ней составляет менее чем 1/1000 пролета (рис. 4, а).

При анализе результатов расчетов по мозаикам напряжений в деформированной схеме (РСН №4 – нагрузки на ТМР: собственный вес и собственный вес ВСП при движении на ТБ с учетом бокового ветра) выявлены наиболее нагруженные элементы наиболее нагруженной продольной фермы со следующими значениями продольных, поперечных нормальных и касательных напряжений $\sigma_x = -242 \dots +253 \text{ МПа}$, $\sigma_y = -233 \dots +225 \text{ МПа}$, $\tau_{xy} = -142 \dots +150 \text{ МПа}$, что ниже расчетного уровня допустимых напряжений. А максимальный выгиб на консольном участке составил + 28.2 мм, что составляет менее чем 1/400 вылета, а на срединном участке поперечной фермы в середине пролета прогиб составил + 65,4 мм, что ней составляет менее чем 1/600 пролета (рис. 4, б).

Конструирование элементов НТМР и узлов их сопряжения между собой проводилось на основе анализа результатов расчета пространственной модели. В стенках и полках элементов ферм НТМР на отдельных участках и местах сопряжений и изменения сечения, где наблюдаются всплески напряжений, предусмотрены конструктивные мероприятия по снижению уровня напряжений, которые состоят в следующем:

- плавный переход в местах изменения сечений, не менее чем 1 к 5 или по радиусу;
- установка дополнительных ребер в местах примыкания смежных элементов;
- увеличение толщины листового проката в зоне высоких внутренних напряжений.

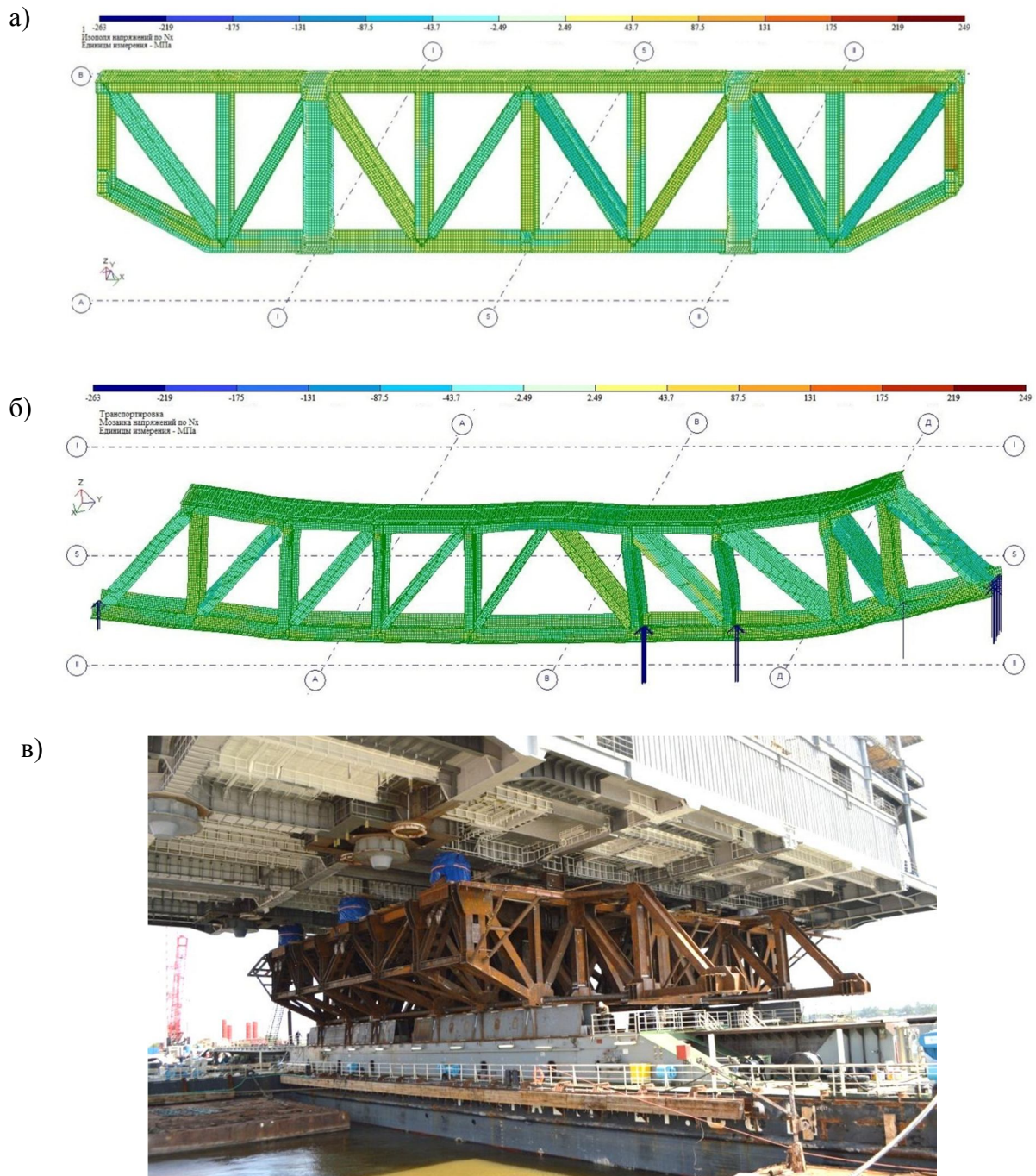


Рисунок 4 – Результаты расчета и подвижка на ТБ: а – продольные нормальные напряжения в элементах ПФ ТМР; б – продольные нормальные напряжения в элементах ПрФ ТМР; в – подвижка ТМР с ВСП на ТБ

Вывод

Созданная пространственная модель ТМР позволила определить сечения элементов составных балок коробчатого и двутаврового сечений, их напряженно-деформированное состояние. По результатам расчета была запроектирована и построена конструкция транспортной рамы, необходимая для транспортировки многоярусной палубы – ВСП ЛСП на точку установки (рис. 4, в).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бочкарев, А.В. Катагенез и прогноз нефтегазоносности недр [Текст] / А.В. Бочкарев, В.А. Бочкарев. – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2006. – 324 с.

2. Бочкарев, В.А. Направленные поиски нефтяных, нефтегазовых и газоконденсатных месторождений в российском секторе Каспия [Текст] / В.А. Бочкарев, Е.В. Сербина // Геология, бурение и разработка нефтяных месторождений Прикаспия и Каспийского моря и нефтегазоносности Волгоградского Поволжья. – Волгоград: ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», 2003. – Вып. 61. – С. 12-21.
3. Бочкарев, В.А. Прогноз фазового состояния УВ в залежах Самурско-Центрально-Каспийской системы поднятий [Текст] / В.А. Бочкарев, П.А. Карпов, Е.В. Сербина // Вопросы геологии и нефтегазоносности Волгоградского Поволжья. – Волгоград: ООО «ЛУКОЙЛ – ВолгоградНИПИморнефть», 2002. – Вып. 59. – С. 12-21.
4. Кулагин, В.Д. Теория и устройство промысловых судов: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1986. – 392 с.
5. Гуральник, Б.С. Оценка посадки, остойчивости и поведения судна в процессе эксплуатации [Текст] / Б.С. Гуральник, Л.Е. Мейлер. – Калининград, БГА РФ, 2003. – 28 с.
6. Смирнов, Н.Г. Теория и устройство судна: учебник. – М.: Транспорт, 1992. – 248 с.
7. Барабанов, Н.В. Конструкция корпуса морских судов. – Л.: Судостроение, 1981. – 551 с.
8. Бородавкин, П.П. Морские нефтегазовые сооружения [Текст]. Часть 1. Конструирование: Недра-Бизнесцентр; 2006. – 560 с.
9. Симаков, Г.В. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе [Текст] / Г.В. Симаков, К.Н. Шхинек, В.А. Смелов, Д.В. Марченко, Н.Г. Храпатый / Учебник для вузов. – Л.: Судостроение, 1989. – 328 с.
10. ООО «Ли́ра софт», Украина, Киев «ПК Ли́ра 9.6»; Сертификат соответствия: №РОСС RU.СП15.Н00315 с 01.07.2010 по 30.06.2012 №0005618.

Синцов Владимир Петрович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства
Кандидат технических наук, доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции»
Тел.: +38-0652-25-37-40, +380503981702
E-mail: sin59@bk.ru

Митрофанов Владимир Алексеевич

Национальная академия природоохранного и курортного строительства
Доцент кафедры «Металлические и деревянные конструкции»
Тел.: +38-0652-48-24-16, +380503932482
E-mail: mit53@mail.ru

V. SINTSOV, V. MITROFANOV

**THE WORK OF ELEMENTS OF AN ASSEMBLING FRAME
FOR TRANSPORTATION OF STEEL DECK PLATFORM**

Final research data of the stress-strain state (SSS) of the elements of transport and mounting frame under tiered steel deck ice-resistant off-shore construction is considered. Developed a three-dimensional model of the mounting frame. The results of numerical studies elements of the mounting frame (MF) under load for a period of sliding deck on the MF, MF moving and sliding on the transport barge (TB) and during transport by river and sea.

Keywords: *ice-resistant off-shore construction, transport - mounting frame, design a computer model.*

BIBLIOGRAPHY

1. Bochkarev, A.V. Katagenez i prognoz neftegazonosnosti neдр [Tekst] / A.V. Bochkarev, V.A. Bochkarev. – М.: ОАО «ВНИИОЖеНГ», 2006. – 324 с.
2. Bochkarev, V.A. Napravlennye poiski nefjtjanyh, neftegazovyh i gazokondensatnyh mestorozhdenij v rossijskom sektore Kaspija [Tekst] / V.A. Bochkarev, E.V. Serbina // Geologija, burenie i razrabotka nefjtjanyh mestorozhdenij Prikaspija i Kaspijskogo morja i neftegazonosnosti Volgogradskogo Povolzh'ja. – Volgograd: ООО «ЛУКОЙЛ-ВолгоградНИПИморнефть», 2003. – Вып. 61. – С. 12-21.
3. Bochkarev, V.A. Prognoz fazovogo sostojanija UV v zalezah Samursko-Central'no-Kaspijskoj sistemy podnjatij [Tekst] / V.A. Bochkarev, P.A. Karpov, E.V. Serbina // Voprosy geologii i neftegazonosnosti Volgogradskogo Povolzh'ja. – Volgograd: ООО «ЛУКОЙЛ – ВолгоградНИПИморнефть», 2002. – Вып. 59. – С. 12-21.

4. Kulagin, V.D. Teorija i ustrojstvo promyslovyh sudov: Uchebnik dlja vuzov. – 2-e izd., pererab. i dop. – L.: Sudostroenie, 1986. – 392 s.
5. Gural'nik, B.S. Ocenka posadki, ostoichivosti i povedenija sudna v processe jekspluatacii [Tekst] / B.S. Gural'nik, L.E. Mejler. – Kaliningrad, BGA RF, 2003. – 28 s.
6. Smirnov, N.G. Teorija i ustrojstvo sudna: uchebnik. – M.: Transport, 1992. – 248 s.
7. Barabanov, N.V. Konstrukcija korpusa morskih sudov. – L.: Sudostroenie, 1981. – 551 s.
8. Borodavkin, P.P. Morskie neftegazovye sooruzhenija [Tekst]. Chast' 1. Konstruirovanie: Nedra-Biznescentr; 2006. – 560 s.
9. Simakov, G.V. Morskie gidrotehnicheskie sooruzhenija na kontinental'nom shel'fe [Tekst] / G.V. Simakov, K.N. Shhinek, V.A. Smelov, D.V. Marchenko, N.G. Hrapatyj / Uchebnik dlja vuzov. – L.: Sudostroenie, 1989. – 328 s.
10. ООО «Lira soft», Ukraina, Kiev «PK Lira 9.6»; Sertifikat sootvetstvija: №ROSS RU.SP15.N00315 s 01.07.2010 po 30.06.2012 №0005618.

V. Sintsov

National academy of environmental and resort construction

Candidate of technical sciences, docent of the department «Metal and wooden structures»

Ph.: +38-0652-25-37-40

E-mail: sin59@bk.ru

V. Mitrofanov

National academy of environmental and resort construction

Associate professor of the department «Metal and wooden structures»

Ph.: +38-0652-48-24-16

E-mail: mit53@mail.ru

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАЗНЫХ ТИПОВ УСТРОЙСТВ ОСТЕКЛЕННОЙ ВЕРАНДЫ НА ТЕПЛОВОЙ БАЛАНС ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДОМА

В статье дана количественная оценка энергоэффективности веранды в зависимости от параметров положения и наличия на фасадах веранды светопрозрачных конструкций. Даны рекомендации по проектированию веранд различных конструкций с учетом теплопотерь и солнечных теплопоступлений. Делается вывод, что архитектурно-планировочное решения при проектировании здания должны приниматься архитектором, вооруженным инструментом, с помощью которого на каждом этапе архитектурного проектирования можно оценивать принятые решения с точки зрения их энергоэффективности.

***Ключевые слова:** энергоэффективное проектирование, теплопотери, солнечные теплопоступления остекленная веранда.*

Постановка проблемы.

Энергоэффективная архитектура требует нового отношения к защите окружающей среды, создания и эксплуатации зданий и сооружений, развитие территорий и поселений в свете устойчивого развития и взаимодействия с органами власти для корректировки законодательства и создания нормативной базы, способствующей развитию биосферосовместимых городов и поселений [2].

При проектировании здания архитектор решает задачу как наилучшим образом использовать положительное и максимально нейтрализовать отрицательное воздействие наружного климата на тепловой баланс здания.

Одним из наиболее эффективных способов снижения показателя теплопотерь здания является устройство буферных помещений, т.е. помещений с регулируемым температурным режимом. При этом буферные помещения могут иметь вид нежилых комнат, расположенных в северной части дома и защищающих его внутренний теплый объем от холодного наружного воздуха, либо быть в виде пристраиваемых или встраиваемых в дом остекленных объемов, служащих для нагрева воздуха. Эти помещения носят название летних и могут быть представлены в виде оранжереи или зимнего сада, остекленной террасы или веранды, лоджии или балкона.

Анализ достижений и публикаций.

Наиболее подходящим термином для обозначения такого буферного помещения под ходит «веранда» – это застекленное, неотапливаемое помещение, пристроенное к зданию или встроенное в него, не имеющее ограничения по ширине (СНиП 31-01-2003).

Очень часто можно встретить проекты энергоэффективных домов с пристроенными к ним остекленными объемами, которые служат для нагрева воздуха.

В. Файст в своей работе [1] пишет, что теплопоступления через окна пассивного дома вносят основной вклад в возмещение теплопотерь. Здесь же он указывает южную ориентацию окон как наиболее благоприятную для зимнего периода года.

В работах [4, 5, 6] также описывается вклад солнечной энергии, поступающей через оконные проемы в общий тепловой баланс здания.

В работах [7, 8] рассматривается принцип устройства остекленного объема, пристраиваемого к жилому дому и служащего для нагрева внутреннего воздуха. Здесь же предложен способ количественной оценки теплопотерь и теплопоступлений в этом объеме.

Но возникает необходимость сравнительной характеристики различных конструкций, предназначенных для нагрева воздуха. Какие из них наиболее эффективны?

Для этого рассмотрим несколько примеров проектирования энергоэффективных домов из мировой практики.

В энергоэффективном доме во Франции, на берегу залива Морбиан, выполненного по проекту Пирса Бидо, оранжерея, которая служит для нагрева воздуха, имеет вид остекленной с трех сторон пристройки, юго-западной ориентации (рис. 1). Крыша оранжереи выполнена из трехслойного поликарбоната.

В проекте энергоэффективного дома в Дании также использован прием устройства остекленного летнего помещения (рис. 2).



Рисунок 1 – Оранжерея для нагрева воздуха в энергоэффективном доме, Франция



Рисунок 2 – Энергоэффективный дом с зимним садом, Дания

Оранжерея имеет южную ориентацию и полностью остеклена. Для того чтобы избежать перегрева, использованы пассивные способы охлаждения – «затенение с помощью жалюзи, ночное охлаждение через открытые окна и широкие карнизы, которые защищают дом от высокого летнего солнца, но открывают доступ зимнему» [3].

Но при более внимательном изучении видно, что крыша оранжереи полностью остеклена и не имеет никакой солнцезащиты, что делает ее открытой для высокого летнего солнца (рис. 2). Это означает, что в летний период, такое помещение будет «страдать» от перегрева. В зимний период, количество солнечной радиации, попадающий в помещение через крышу будет не велико, из-за геометрии зимних солнечных лучей, а вот теплопотери через такой большой остекленный объем будут существенными.

Возникает вопрос – насколько целесообразно устройство остекленной крыши в помещении, служащем для нагрева воздуха зимой? Каким будет эксплуатационный режим такого помещения в жаркий период года? На сколько энергетически эффективно устройство полностью остекленной веранды? На фасаде какой ориентации наиболее энергоэффективно располагать веранду?

Целью работы является определение параметров веранды наибольшей энергоэффективности при различной ориентации и наличии светопрозрачных конструкций на фасадах.

Для достижения поставленной цели рассмотрены разные варианты устройства веранды в односемейном доме:

1. Встроенная в дом веранда, расположенная на фасадах разной ориентации, с остекленной и неостекленной кровлей.
2. Пристроенная к фасадам разной ориентации веранда с остекленным одним или тремя фасадами, а также остекленной или неостекленной кровлей.

Исследовательская часть

Для упрощения сравнения полученных результатов было решено, что веранды будут одинаковых размеров, с одинаковой площадью наружных ограждающих конструкций и пола.

Внутренние габариты веранды: длина 2 м, ширина 1,5 м, высота 3 м. Площадь 3 м². Кровля условно плоская, горизонтальная. В стене, граничащей с жилыми помещениями расположена дверь, площадь дверного полотна 1,9 м².

Поскольку условия холодной пятидневки не отражают продолжительных погодных условий зимнего периода в городе Симферополе, а температура наружного воздуха в течение суток может существенно колебаться, было решено рассчитать теплотери через ограждающие конструкции веранды за целый месяц - декабрь.

Расчетные условия температур и показателей сопротивления материалов ограждающих конструкций приняты для города Симферополя, согласно ДБН В.2.6-31:2006 и ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010:

Для расчета теплотерь взята среднемесячная температура наружного воздуха в декабре +2,1°С;

Расчетная температура воздуха внутри веранды +10°С;

Расчетная температура внутри жилых помещений +20°С;

Минимально допустимые показатели сопротивления стен 2,8 м²·°С/Вт, окон и дверей 0,6 м²·°С/Вт, перекрытия 4,5 м²·°С/Вт, пола 3,3 м²·°С/Вт.

Рассчитав часовые теплотери через ограждающие конструкции веранды в декабре, они были умножены на 24 часа и 31 день, чтобы получить данные о теплотериях за весь декабрь при средней наружной температуре +2,1°С.

Теплопоступления через ограждающие конструкции веранды рассчитывались для 5-ти вариантов ориентации фасада, к которому она пристраивается или встраивается: В-ЮВ-Ю-ЮЗ-З. Т.к. устройство застекленной веранды с северными ориентациями не будет достаточно освещаться, чтобы повлиять на тепловой баланс здания, они не учитываются. Для расчета были взяты данные о среднемесячной солнечной радиации, которая поступает на горизонтальную и вертикальную поверхность разной ориентации при средних условиях облачности для декабря и для самого жаркого месяца – августа (ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, табл. 8). Для того, чтобы определить долю возврата среднемесячных теплотерь при помощи солнечных теплопоступлений, необходимо было получить количество солнечной радиации, поступающей на ограждающие конструкции веранды в течение месяца, - для этого показатели прямой и рассеянной солнечной радиации были просуммированы и переведены из МДж/м² в Вт/м².

Полученные результаты представлены в таблице 1.

Обработав полученные данные, можно выделить следующие закономерности и выводы:

1. Самые высокие показатели теплопоступлений в декабре у веранд, имеющих южную ориентацию. Следующие по величине количества поступающей энергии – ЮВ и ЮЗ ориентации.

2. Самые высокие показатели теплоступлений в августе у веранд с одним остекленным фасадом ЮВ и ЮЗ ориентации (хотя в нормативных документах неблагоприятной из-за перегрева ориентацией считается лишь ЮЗ). В случае трехстороннего остекления веранды наибольшее количество теплоступлений будет у веранд, пристраиваемых к южному фасаду.

Таблица 1 – Результаты расчетов теплотерь и теплоступлений через ограждающие конструкции веранд различного типа и ориентации

Тип веранды		Суммарные теплотери в декабре, кВт	Среднемесячные теплоступления, кВт					
			месяц	В	ЮВ	Ю	ЮЗ	З
Встроенная	Остеклен 1 фасад	8,9	дек.	29,53	58,42	77,9	58,42	30,78
			авг.	169,01	191,62	178,42	191,62	165,22
	Остеклен 1 фасад и кровля	35,7	дек.	57,8	86,69	106,17	86,69	59,05
			авг.	344,78	367,39	354,19	367,39	340,99
Пристроенная	Остеклен 1 фасад	55,1	дек.	29,53	58,42	77,9	58,42	30,78
			авг.	169,01	191,62	178,42	191,62	165,22
	Остеклен 1 фасад и кровля	81,8	дек.	57,8	86,69	106,17	86,69	59,05
			авг.	344,78	367,39	354,19	367,39	340,99
	Остеклены 3 фасада	128,7	дек.	129,89	144,17	151,41	144,17	131,14
			авг.	530,9	596,4	604,87	596,4	527,12
	Остеклены 3 фасада и кровля	153,3	дек.	158,16	172,44	178,68	172,44	159,91
			авг.	706,67	772,17	780,64	772,17	702,89

3. Наименьшие суммарные теплотери в декабре будут у встроенной веранды без остекленной крыши – всего 8,9 кВт. Это самый экономичный вариант устройства веранды. Такие показатели теплотерь объясняются тем, что с трех сторон веранда окружена жилыми помещениями с расчетной температурой внутреннего воздуха +20°C. С увеличением количества остекления, увеличиваются и теплотери: при устройстве остекленной кровли у встроенной веранды, среднемесячные теплотери в декабре составят 35,7 кВт, что в 4 раза больше варианта без остекленной кровли. При устройстве пристроенной веранды с тремя остекленными фасадами теплотери увеличатся в 9 раз, а при устройстве полностью остекленной пристроенной веранды, теплотери увеличатся в 17 раз, по сравнению с первым вариантом.

4. Показатели теплоступлений встроенной веранды без остекленной кровли будет совпадать с показателями теплоступлений пристроенной веранды с одним остекленным фасадом. Но при этом, разница в теплотерях будет существенно отличаться: в первом случае – это 8,9 кВт, а во втором – 55,1 кВт, что в 6 раз больше.

5. Теплоступления в декабре будут превышать теплотери через ограждающие конструкции веранды практически при любом варианте ее архитектурно-планировочного устройства. Исключение составляют следующие случаи:

а) теплотери превышают теплоступления – у пристроенной веранды с одним остекленным фасадом восточной или западной ориентации, как с остекленной кровлей, так и без нее;

б) теплоступления практически равны теплотерям – у пристроенной веранды с 1 остекленным фасадом (как в случае с остекленной кровлей, так и без нее) при ЮВ и ЮЗ ориентации (рис. 3);

– у полностью остекленной веранды и веранды лишь с тремя остекленными фасадами В и З ориентации.

Проанализировав полученные результаты можно сделать вывод, что наиболее экономичный и целесообразный вариант устройства веранды – это встроенная в тело дома веранда с одним остекленным фасадом южной ориентации, без остекленной кровли. В этом случае тепlopоступления за декабрь превысят тепlopотери более чем в 8,5 раз.

Следующая наиболее благоприятная ориентация для веранды такого устройства – ЮВ и ЮЗ. Но в этом случае тепlopоступления в декабре будут ниже почти на 20 кВт, а в августе – выше на 13 кВт, что снижает общую энергоэффективность такого варианта устройства веранды, по сравнению с первым.

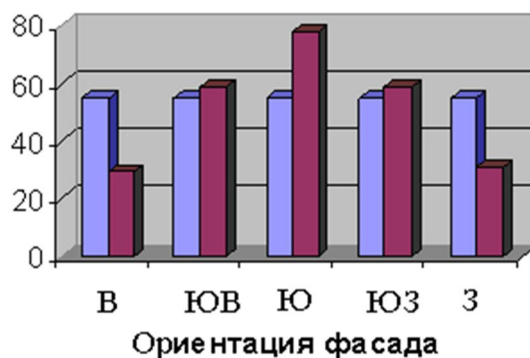


Рисунок 3 – Тепlopотери и солнечные тепlopоступления пристроенной веранды с одним остекленным фасадом

Также стоит отметить, что устройство остекленной кровли, как и полностью остекленной пристроенной веранды абсолютно не рационально и не экономично. Устройство остекленной кровли в рассмотренных типах веранд увеличивает тепlopотери в декабре в среднем на 25 кВт, что практически равно количеству тепlopоступлений через кровлю, равных 28,27 кВт в декабре. Уже только этот факт говорит о нецелесообразности устройства остекленной кровли. Помимо этого, благодаря ей, в августе тепlopоступления увеличатся на 175,77 кВт, что будет способствовать дополнительному перегреву веранды.

В целом, сравнивая общие показатели тепlopоступлений и тепlopотерь, видно, что устройство веранды является энергоэффективным приемом. Тепlopоступления в декабре при среднемесячной температуре $+2,1^{\circ}\text{C}$ превышают тепlopотери в несколько раз при любой ориентации остекленного фасада веранды. Но учитывая перегрев в летний период, наиболее благоприятной ориентацией веранды является южная. В этом случае тепlopоступления в декабре будут выше, а в августе – ниже, по сравнению с другими ориентациями.

Также можно выделить рекомендательную методику проектирования веранды в энергоэффективном доме для климатических условий Крыма, которая будет способствовать получению наиболее высоких энергетически выгодных результатов эксплуатации такой веранды.

Выводы

В результате расчетов тепlopотерь и солнечных тепlopоступлений можно сделать следующие выводы:

1. При проектировании встроенной веранды целесообразно применять непрозрачную кровлю и один остекленный фасад южной ориентации. При этом в жаркий период года вовнутрь помещения поступает наименьшее количество солнечного тепла, что исключает перегрев. В холодный период года солнечное тепло поступает через светопрозрачные конструкции только южной ориентации, что говорит об энергоэффективности такой веранды.

2. Веранда должна быть встроена в объем дома. В случае, когда это невозможно осуществить (по каким-то архитектурным или объемно-планировочным причинам), и веранда выполняется в виде пристройки, ее боковые стены должны быть «капитальными», с высокими

показателями сопротивления теплопередаче, а так же имеет минимальный, а лучше нулевой, процент остекления.

3. Архитектурно-планировочные решения при проектировании здания должны приниматься архитектором, вооруженным инструментом, с помощью которого на каждом этапе архитектурного проектирования можно оценивать принятые решения с точки зрения их энергоэффективности.

Перспектива дальнейших исследований заключается в проведении расчетов теплопотерь и теплопоступлений встроенной веранды (как наиболее эффективного варианта устройства помещения с целью нагрева воздуха), для осеннего и весеннего периодов. Для получения более наглядной картины влияния такой веранды на тепловой баланс всего дома, необходимы расчеты теплопотерь и теплопоступлений для каждого месяца и ежемесячный тепловой баланс дома.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов [Текст] / В. Файст. – М.: АСВ, 2008. – 144 с.
2. Ильичев, В.А. Социальные ожидания, жилищные программы и качество жизни на урбанизированных территориях [Текст] / В.А. Ильичев, С.Г. Емельянов, В.И. Колчунов, Н.В. Бакаева // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – №2. – С. 3-7.
3. [Http://domick.net/content/view/66/123/](http://domick.net/content/view/66/123/).
4. Підгорний, О.Л. Світлопрозорі огороження будинків. Навчальний посібник / О.Л. Підгорний, І.М. Щепетова, О.В.Сергейчук та ін. – К.: КНУБА, 2005. – 282 с.
5. Сергейчук, О.В. Оптимизация физико-технических параметров светопрозрачных конструкций в процессе проектирования энергоэффективных зданий [Текст] / О.В. Сергейчук // Материалы Международ. научн.-практич. конференции «Биосферно-совместимые города и поселения». – Брянск, 2012. – С. 50-56.
6. Сергейчук О.В. Климатическое районирование Украины как основа для проектирования биосферосовместимых поселений [Текст] / О.В.Сергейчук, Е.Н.Щербакова, Диб. Мохамад // Биосферная совместимость. – 2013. – Курск, ЮЗГУ. – №2. – С. 9-16.
7. Alexander Dvoretzky, Ksenia Klevets. Heat Loss Reduction of Energy Efficient Home by Buffer Areas// MOTROL, Lublin, Poland. 2013. pp (in English).
8. Дворецкий, А.Т. Солнечная энергия оранжереи в тепловом балансе малоэтажного здания [Текст] / А.Т. Дворецкий, Д.А. Дворецкий // Строительство и техногенная безопасность. – Симферополь: НАПКС. – 2012. – №41. – С. 14-19.

Дворецкий Александр Тимофеевич

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь.

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Геометрическое и компьютерное моделирование энергоэффективных зданий»

E-mail: dvoretzkyat@ukr.net

Клевец Ксения Николаевна

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь

Аспирант

E-mail: ksenia.klevets@gmail.com

A. DVORETSKY, K. KLEVETS

ANALYSIS OF INFLUENCE BY DIFFERENT TYPES OF DEVICES OF GLASED VERANDA ON THE HEAT BALANCE OF ENERGY EFFICIENT HOMES

The article provides a quantitative assessment of the energy efficiency verandas, depending on the parameters of the location and the availability of the translucent structures on the facades of the veranda. Recommendations for the design of verandas with different constructions, taking into account the heat loss and solar heat gain are given. It is concluded that the architectural and planning solutions

in the building design should be made by the architect with instrument through which the architect can evaluate decisions in terms of their energy efficiency at every stage of architectural design.

Keywords: *energy-efficient design, heat loss, solar heat gain, glazed veranda.*

BIBLIOGRAPHY

1. Fajst V. Osnovnye polozhenija po proektirovaniju passivnyh domov [Tekst] / V. Fajst. – M.: ASV, 2008. – 144 s.
2. Il'ichev, V.A. Social'nye ozhidaniya, zhilishhnye pro-grammy i kachestvo zhizni na urbanizirovannyh territorijah [Tekst] / V.A. Il'ichev, S.G. Emel'janov, V.I. Kolchunov, N.V. Bakaeva // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2014. – №2. – S. 3-7.
3. [Http://domick.net/content/view/66/123/](http://domick.net/content/view/66/123/).
4. Pidgornij, O.L. Svitloprozori ogorodzhennja budinkiv. Navchal'nij posibnik / O.L. Pidgornij, I.M. Shhepetova, O.V Sergejchuk ta in. – K.: KNUBA, 2005. – 282 s.
5. Sergejchuk, O.V. Optimizacija fiziko-tehnicheskikh parametrov svetoprozrachnyh konstrukcij v processe proektirovanija jenergojeffektivnyh zdanij [Tekst] / O.V. Sergejchuk // Materialy Mezhdunarod. nauchn.-praktich. konferencii «Biosferno-sovmestimye goroda i poselenija». – Brjansk, 2012. – S. 50-56.
6. Sergejchuk O.V. Klimaticheskoe rajonirovanie Ukrainy kak osnova dlja proektirovanija biosferosovmestimyh poselenij [Tekst] / O.V.Sergejchuk, E.N.Shherbakova, Dib. Mohamad // Biosfernaja sovmestimost'. – 2013. – Kursk, JuZGU. – №2. – S. 9-16.
7. Alexander Dvoretzky, Ksenia Klevets. Heat Loss Reduction of Energy Efficient Home by Buffer Areas// MOTROL, Lublin, Poland. 2013. pp (in English).
8. Dvoreckij, A.T. Solnechnaja jenergija oranzherei v teplovom balanse malojetazhnogo zdanija [Tekst] / A.T. Dvoreckij, D.A. Dvoreckij // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. – Simferopol': NAPKS. – 2012. – №41. – S. 14-19.

A. Dvoretzky

National academy of environmental protection and resort development, Simferopol

Doctor of technical sciences, professor, head of the department «Ggeometrical and computer simulation of energy efficient buildings»

E-mail: dvoretzkyat@ukr.net

K. Klevets

National academy of environmental protection and resort development, Simferopol

Graduate student

E-mail: ksenia.klevets@gmail.com

КОБЕЛЕВА С.А.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ И ВЫЯВЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ КАЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ ПОТЕНЦИАЛА ЭНЕРГО- И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ ГРАЖДАНСКИХ ЗДАНИЙ

В строительном комплексе используются различные виды минерально-сырьевых ресурсов, добываемых из Биосферы. После утраты потребительских свойств зданий, практически все, что добыто, превращается в отходы. Экологическая ситуация вокруг городов постоянно ухудшается. Техногенный цикл, в отличие от естественных природных циклов Биосферы, не замкнут. На различных этапах использования природных ресурсов в производственной деятельности возникают потери. В статье предложена модель полного ресурсного цикла строительной продукции. Обоснована необходимость перехода строительного комплекса на малоотходные технологии.

Ключевые слова: ресурсосбережение, потенциал, энергосбережение, малоотходные технологии.

Постановка проблемы. Строительный комплекс является одной из наиболее ресурсоемких отраслей промышленности [1]. Анализ отечественного и мирового опыта показывает, что решение проблемы ресурсосбережения в строительстве позволяет значительно сократить объемы минерально-сырьевых ресурсов в техногенном цикле. Поток сырья начинается с извлечения ресурсов из Биосферы и заканчивается выбросами в нее отходов [2]. В строительстве основным источником опасности для человека и окружающей природной среды является незамкнутость техногенных и природных потоков ресурсов, приводящих к нарушению равновесия в Биосфере. Биосфера создала биотические механизмы ликвидации отходов, однако эта способность ограничена ее ассимиляционным потенциалом. Поэтому дальнейший путь развития строительной отрасли заключается в уменьшении потоков природно-сырьевых и топливно-энергетических ресурсов, извлекаемых из Биосферы, и создании циркулярных (полных) ресурсных циклов строительной продукции.

Анализ основных исследований и публикаций. Вопросы ресурсо-, энергосбережения неоднократно становились предметом острых дискуссий в научной сфере. Одни авторы рассматривают основные направления внедрения ресурсосберегающих технологий с функционально-технологической точки зрения (М.М. Бродач, Н.И. Буравчук, Л.Н. Губанов, Н.А. Ерощкина, Н.А. Колычев, В.В. Найденко, Ю.А. Табунщиков и др.). Другие – исследуют экономическую составляющую этого процесса (Т.А. Акимова, В.Г. Гагарин, И.И. Дрогомирецкий, О.А. Коньк и др.). Широко представлены работы ученых по отраслям экономики [3, 4]: предприятия строительной индустрии; строительство, жилищно-коммунальное хозяйство. Новые подходы в решение проблемы снижения антропогенного воздействия на Биосферу предложены академиком В.А. Ильичевым в концепции биосферной совместимости городов и поселений, развивающих человека.

В мировом сообществе вопросы энерго-, ресурсосбережения приобрели актуальность после первого энергетического кризиса 1970-х годов. В последующие десятилетия в зарубежной практике сложились и успешно развиваются концепции многофакторного энерго-, ресурсосбережения при проектировании, строительстве, эксплуатации зданий. В настоящее время в гражданском строительстве выработано несколько направлений «зеленого» строительства, например, энергоэффективное здание, интеллектуальное, здоровое, нулевое и т.п. За рубежом получил также развитие «Метод программирования жизненного цикла здания» (автор: архитектурная фирма «Bauart Architekten», город Невшател, Швейцария), заключающийся в проработке последнего временного отрезка функционирования здания – стадия демонтажа. Программа «жизненный цикл» предусматривает демонтаж, утилизацию материалов, а так же их повторное использование, создание уникального паспорта здания на стадии разработки проекта.

В отечественной практике нерешенной остается проблема комплексной оценки потенциала энерго- и ресурсоэффективности гражданских зданий на всех стадиях жизненного цикла, включая добычу минерально-сырьевых ресурсов из Биосферы; производство строительных материалов, изделий, конструкций; проектирование; возведение зданий; эксплуатацию; демонтаж и утилизацию конструкций, объектов, выработавших свой ресурс, что и послужило темой для исследования.

Основная часть

В настоящее время в Российской Федерации в промышленности и строительном комплексе используются технологии «сквозного ресурсного цикла». Ежегодно на каждого жителя страны из Биосферы добывается в среднем до 20 тонн минерально-сырьевых ресурсов. В результате технологических процессов из них изготавливается товарная продукция. После утраты потребительских свойств, практически все, что добыто, превращается в отходы. Экологическая ситуация вокруг городов, поселков постоянно ухудшается.

Объектом воздействия промышленности и строительного комплекса является окружающая природная среда (воздух, вода, почва, растительный мир и др.). Установившаяся система производственных связей часто вступает в противоречие с системой природных связей. Кардинальное различие между двумя системами состоит в том, что производственная система является открытой, отходы производства, практически не перерабатываясь, поступают в Биосферу, а природная система замкнута. Для устранения этого противоречия необходимо стремиться к изменению, согласованию этих связей на основе создания полных производственных циклов, обеспечивающих замкнутость производственной деятельности и исключаящих негативное воздействие на окружающую природную среду.

Техногенный цикл, в отличие от естественных природных циклов Биосферы, не замкнут. На различных этапах использования природных ресурсов в производственной деятельности возникают потери. Они обуславливаются субъективными причинами, особенностями технологических процессов производства, авариями и пр. Возрастающие потребности общества ведут к росту промышленного производства, увеличению добычи и переработки сырья и, как следствие, к увеличению антропогенной нагрузки на окружающую природную среду.

Все это обуславливает необходимость перехода к комплексному использованию природных ресурсов в гражданском строительстве, введению ограничений на их использование, внедрению в производство экологически безопасных, ресурсосберегающих технологий, отказа от экстенсивных путей использования ресурсов.

«Циркулярный» или «полный ресурсный цикл» представляет собой полную противоположность «сквозному ресурсному циклу» [5]. В «полном ресурсном цикле» промышленность производит продукцию, пригодную после окончания срока службы к ресурсному или энергетическому использованию; создаются мощности для переработки различных фракций и видов отходов; стимулируется потребление техногенного и вторичного сырья; соответствующим образом настраивается транспортная логистика и пр. Данная организация антропогенных ресурсных циклов получила второе название - безотходных производств, понимаемых как совокупность технологических процессов, из которых отходы одних используются в качестве сырья для других, что обеспечивает их полную утилизацию. В настоящее время в строительном комплексе реальным является переход к малоотходным производствам и технологиям, характеризующимся максимально возможной переработкой или утилизацией отходов.

На рисунке 1 представлена модель «циркулярного ресурсного цикла» с малоотходными технологиями. Связи между элементами модели «циркулярного ресурсного цикла» с малоотходными технологиями реализуются потоками минерально-сырьевых ресурсов, готовой строительной продукции, отходов и возможных потерь. Внешней средой системы является, с одной стороны, Биосфера, через которую замыкаются техногенные циклы, а с другой стороны потребности человека. Создаваемые в биогеохимических циклах биосферные ресурсы служат источником сырья для промышленного производства.

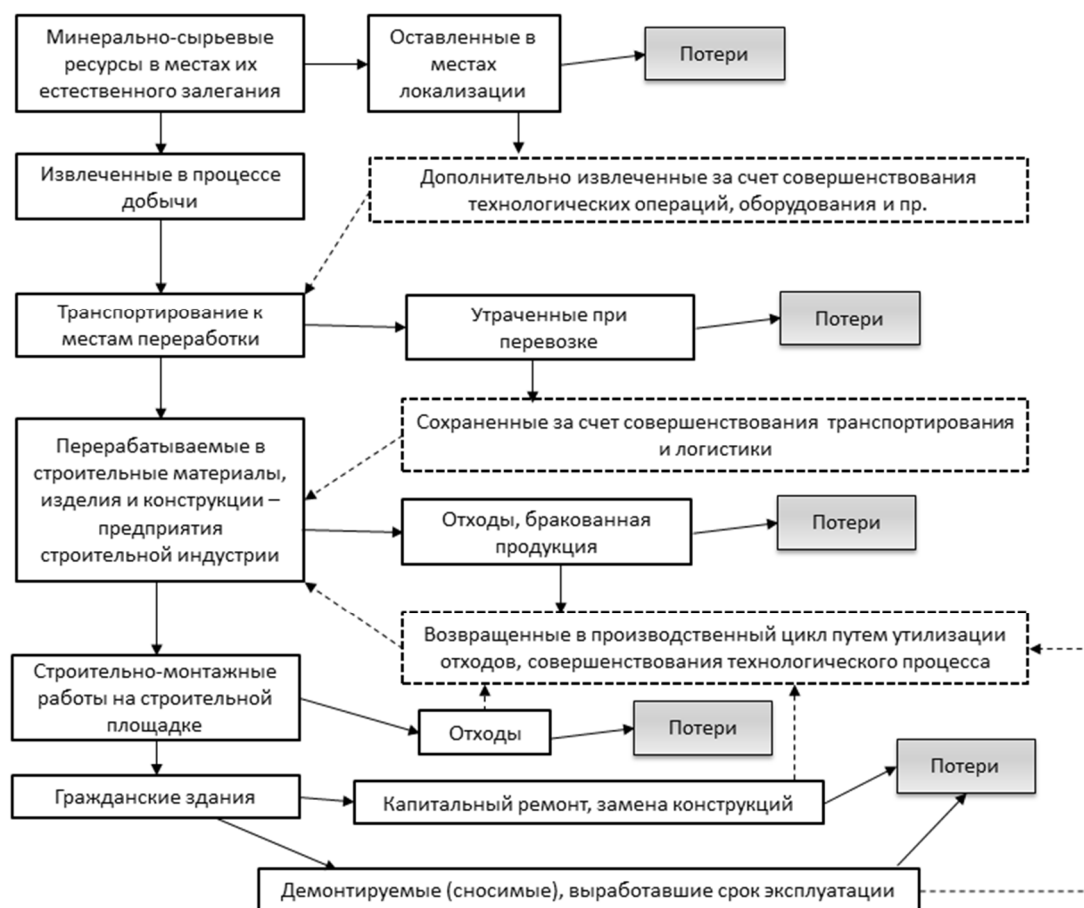


Рисунок 1 – Модель «циркулярного ресурсного цикла» с малоотходными технологиями

Переход к малоотходным технологиям в строительной отрасли определяется, в основном тремя группами мероприятий: организационно-технической, инженерной и экологической.

Анализ данных отечественных и зарубежных исследований в области поиска эффективных путей ресурсо-, энергосбережения при использовании малоотходных технологий показывает явную целесообразность и перспективность развития строительного комплекса по следующим основным направлениям.

1. Развитие производства по инновационным низкоэнергоемким и экологически чистым технологиям, альтернативным традиционным, строительных материалов, изготавливаемых на основе, прежде всего, крупнотоннажных вторичных продуктов региональных промышленных предприятий и других местных сырьевых ресурсов. Поскольку основным строительным материалом конструкционного и конструкционно-теплоизоляционного назначения являются в настоящее время и остаются на обозримую перспективу бетоны, то развивать следует производство низкоэнергоемких и наиболее экономичных для соответствующих регионов материалов, альтернативных основным компонентам этих бетонов, т.е. альтернативных традиционным цементам и заполнителям на основе природных сырьевых ресурсов [6].

Примером техногенных отходов, пригодных для использования в качестве дополнительного сырья при производстве эффективных конструкционно-изоляционных материалов, являются металлургические шлаки. Они характеризуются постоянным химическим составом, экологически безопасны и представляют собой классическую силикатную систему. Экспериментальные исследования показывают, что замена 15-20% глинистого материала на тонкокомлотый доменный шлак не приводит к ухудшению свойств многих керамических материалов.

Другим примером использования техногенного сырья в комплексе с дефицитными минерально-сырьевыми ресурсами может служить применение боя стеклотарного сырья в производстве теплоизоляционных пеностеклокристаллических материалов. Его использование позволяет снизить энергоемкость технологического процесса производства изделий за счет более

низкой температуры вспенивания синтезируемого материала ($800\div 850^{\circ}\text{C}$) по сравнению с применением «чистых» природных компонентов – кварцевого песка, перлита, у которых температура обработки варьируется в пределах $1400\div 1550^{\circ}\text{C}$ [7].

2. Развитие индустрии легких бетонов, причем не только конструкционно-теплоизоляционного, но и конструкционного назначения, в том числе высокопрочных (классов В40 и выше) легких бетонов на базе преимущественного использования продуктов переработки техногенных отходов. Это обусловлено тем, что использование конструкционно-теплоизоляционного бетона позволяет снизить энергоемкость и себестоимость 1 кв. м наружной стены здания и повысить надежность обеспечения ее теплозащитной функции, а конструкционного назначения (взамен равнопрочных тяжелых бетонов) – снизить и энергозатраты на изготовление всех основных элементов конструктивной системы здания.

Например, применение в ограждающих конструкциях зданий стеновых изделий из безавтоклавных высокодолговечных и надежных в эксплуатации легких бетонов новых модификаций марок по плотности D250-D350 взамен применяемых стеновых изделий из газосиликата, газобетона и газозолобетона автоклавного твердения марок по плотности D400 – D500 позволит снизить энергоемкость 1 м² наружной стены на 25-35%.

3. Совершенствование конструктивных систем зданий в направлении снижения их массы и соответствующего снижения расхода стальной арматуры в фундаментах и нижележащих конструкциях, рационального использования в основных элементах конструктивной системы низкоэнергоемких и экономичных строительных материалов, а также в снижения металлоемкости стыков и узлов сопряжений этих элементов [8].

При выполнении всех вертикальных (колонны, несущие стены) и горизонтальных (ригели, покрытия, диски перекрытий) элементов конструктивной системы здания из легких, в том числе высокопрочных бетонов классов по прочности на сжатие В15-В50, марок по средней плотности D1200-D1850 масса здания снижается до 30%. Это позволит сократить расход стальной арматуры – самого энергоемкого строительного материала (1850-2100 кг у. т. на 1 т арматурной стали).

4. Модернизация технологий производства строительных изделий, конструкций. Изготовление на «длинных» (≈ 100 м) стендах методом безопалубочного формования предварительно напряженных элементов конструктивной системы здания (прежде всего, многопустотных перекрытий) с использованием стабилизированных высокопрочных арматурных канатов и высокопрочной проволоки Вр-II позволяет сократить в 1,5-1,8 раза расход высокоэнергоемкой стальной арматуры за счет отказа от арматурных сеток и каркасов. Применение метода безопалубочного формования элементов конструктивной системы здания на «длинных» стендах позволяет отказаться от дорогостоящих арматурных цехов, от высокоэнергозатратных технологических процессов изготовления в них арматурных элементов.

5. При производстве строительно-монтажных, демонтажных работ: использование современных машин и механизмов, прогрессивных технологий и техоснастки, внедрение научной организации труда, оптимальных логистических потоков, сетевого планирования, а также безопасных и безвредных условий труда, что позволит снизить энергетические издержки строительного производства.

6. При эксплуатации зданий: снижение энерго-, тепло-, водопотребления в зданиях, увеличение сроков эксплуатации и межремонтных циклов, создание комфортных условий эксплуатации.

Потенциал энерго- и ресурсосбережения гражданских зданий обеспечивается комплексным подходом от выбора участка строительства и разработки архитектурно-строительных проектов до их сноса (утилизации), с учетом оптимизации затрат ресурсов на производство строительных материалов и конструкций, а также выполнения строительно-монтажных, демонтажных работ.

Выводы

Таким образом, направления качественной оценки потенциала энерго- и ресурсосбережения гражданских зданий систематизированы следующим образом:

1) ресурсосбережение:

- замена природного сырья на промышленные отходы, в результате чего снижается потребление природных минерально-сырьевых ресурсов, при этом реализуется дополнительный экологический эффект – ликвидируются промышленные свалки;

- повышение технико-строительных характеристик продукции, например прочности строительных материалов или несущей способности конструкций, что позволяет снизить их материалоемкость;

- увеличение долговечности материалов, что обеспечивает повышение срока эксплуатации и затрат на ремонтно-восстановительные работы;

- проектирование зданий, сооружений и строительных конструкций с новыми возможностями для их модернизации, реконструкции и ремонта.

2) Энергосбережение:

- снижение потребления энергии в промышленности строительных материалов за счет применения малоэнергоёмких технологий производства;

- использование при строительстве зданий эффективных теплоизоляционных материалов и конструкций, обеспечивающих снижение потерь тепла через ограждающие конструкции;

- проектирование и строительство зданий с эффективными системами отопления и вентиляции, позволяющими утилизировать тепловую энергию.

Перспективы дальнейшего исследования.

Основные факторы, влияющие на ресурсосбережение при проектировании, строительстве и эксплуатации гражданских зданий следующие: рациональный выбор объёмно-планировочных и конструктивных решений; длительный срок службы; снижение ресурсоемкости зданий и, как результат, снижение использования невозобновляемых минерально-сырьевых ресурсов. Перспективы дальнейших исследований состоят в построении и математическом описании модели «циркулярного ресурсного цикла» с малоотходными технологиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Экономика и прогнозирование промышленного природопользования [Электронный ресурс]: учебное пособие: самост. учеб. электрон. изд. / О.А. Конык; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар: СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.

2. Кобелева, С.А. Выбор критериев для экологической оценки строительных технологий [Текст] / С.А. Кобелева // Безопасность в техносфере. – 2013. – №6 (ноябрь-декабрь). – С. 23-26.

3. Акимова, Т.А. Экология. Человек – экономика – биота – среда [Текст] / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. – М.: ЮНИТИ, 2006. – 567 с.

4. Юсфин, Ю.С. Промышленность и окружающая среда [Текст] / Ю.С. Юсфин, Л.И. Леонтьев, П.И. Черноусов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2002. – 348 с.

5. Колычев, Н.А. К новому технологическому укладу [Текст] / Н.А. Колычев // Твердые бытовые отходы. 2013. – №1 (78). – С. 8-9.

6. Фаликман, В.Р. Новые эффективные высокофункциональные бетоны [Текст] / В.Р. Фаликман // Бетон и железобетон. – 2011. – №2. – С. 78-84.

7. Ильичев, В.А. Об инновационных технологиях для ресурсоэнергоэффективного строительства [Текст] / В.А. Ильичев, В.И. Колчунов, С.А. Кобелева, С.В. Солопов // Фундаментальные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2012 году: сборник научных трудов / Рос. Академия архит. и строит. наук; Волгогр. гос. архит.-строит. ун-т. – Волгоград: ВолГАСУ, 2013. – С. 433-436.

8. Ключева, Н.В. Ресурсоэнергоберегающая конструктивная система жилых и общественных зданий с заданным уровнем конструктивной безопасности [Текст] / Н.В. Ключева, В.И. Колчунов, А.С. Бухтиярова // Промышленное и гражданское строительство, 2014. – №2. – С. 9-12.

Кобелева Светлана Анатольевна

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

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

Тел.: +7 910 302 26 77

E-mail: ksa92@ya.ru

S. KOBELEVA

THE SYSTEMATIZATION AND IDENTIFICATION OF THE DIRECTIONS OF QUALITY STANDARD OF THE POTENTIAL OF ENERGO- AND RESOURCE-SAVING OF CIVIL BUILDINGS

Abstract. In the construction sector, various kinds of mineral resources extracted from the biosphere. After the loss of consumer properties buildings, almost everything produced is converted into waste. The environmental situation is getting worse around the cities. Technogenic cycle, unlike natural cycle of the Biosphere, is not closed. At various stages of use of natural resources in the production activity loss occurs. The paper proposes a model of the full cycle of resource construction products. The necessity of building complex transition to low-waste technologies.

Keywords: resources, capabilities, energy-saving, low-waste technologies.

BIBLIOGRAPHY

1. Jekonomika i prognozirovanie promyshlennogo prirodopol'zovanija [Jelektronnyj resurs]: uchebnoe posobie: samost. uceb. jelektron. izd. / O.A. Konyk; Sykt. lesn. in-t. – Jelektron. dan. – Syktyvkar: SLI, 2013. – Rezhim dostupa: <http://lib.sfi.komi.com>.
2. Kobeleva, S.A. Vybor kriteriev dlja jekologicheskoy ocenki stroitel'nyh tehnologij [Tekst] / S.A. Kobeleva // Bezopasnost' v tehnosfere. – 2013. – №6 (nojabr'-dekabr'). – S. 23-26.
3. Akimova, T.A. Jekologija. Chelovek – jekonomika – biota – sreda [Tekst] / T.A. Akimova, V.V. Haskin. – M.: JuNITI, 2006. – 567 s.
4. Jusfin, Ju.S. Promyshlennost' i okruzhajushhaja sreda [Tekst] / Ju.S. Jusfin, L.I. Leont'ev, P.I. Chernousov. – M.: IKC «Akademkniga», 2002. – 348 s.
5. Kolychev, N.A. K novomu tehnologicheskomu ukladu [Tekst] / N.A. Kolychev // Tverdye bytovye othody. 2013. – №1 (78). – S. 8-9.
6. Falikman, V.R. Novye jeffektivnye vysokofunkcional'nye betony [Tekst] / V.R. Falikman // Beton i zhelezobeton. – 2011. – №2. – S. 78-84.
7. Il'ichev, V.A. Ob innovacionnyh tehnologijah dlja resursojenergojeffektivnogo stroitel'stva [Tekst] / V.A. Il'ichev, V.I. Kolchunov, S.A. Kobeleva, S.V. Solopov // Fundamental'nye issledovanija RAASN po nauchnomu obespecheniju razvitija arhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noj otrasli Rossijskoj Federacii v 2012 godu: sbornik nauchnyh trudov / Ros. Akademija arhit. i stroit. nauk; Volgogr. gos. arhit.-stroit. un-t. – Volgograd: VolGASU, 2013. – S. 433-436.
8. Kljueva, N.V. Resursojenergosberegajushhaja konstruktivnaja sistema zhilyh i obshhestvennyh zdaniy s zadannym urovnem konstruktivnoj bezopasnosti [Tekst] / N.V. Kljueva, V.I. Kolchunov, A.S. Buhtijarova // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo, 2014. – №2. – S. 9-12.

S. Kobeleva

State university – educational-science-production complex, Orel

Candidate of technical science, associate professor of department «Building constructions and materials»

Ph.: +7 910 302 26 77

E-mail: ksa92@ya.ru

ЧЕБЫШЕВ М.В.

КОНЦЕПЦИЯ ВЕНТИЛИРУЕМОГО ФАСАДА С УТЕПЛИТЕЛЕМ ИЗ ПЕНОСТЕКЛА

В статье предложена идея применения энергоэффективного, экологичного и долговечного утеплителя (пеностекла) для заполнения вентилируемого фасада в строительстве энергоэффективных зданий. Рассмотрена концептуальная модель конструкции вентилируемого фасада с применением пенокрошки.

Ключевые слова: вентилируемый фасад, энергоэффективность, утеплитель, пеностекло, пенокрошка.

Применяемые в настоящее время варианты утепления фасадов не всегда способны соответствовать требованиям энергоэффективности, экологичности, пожаробезопасности и быть экономически целесообразными. Так, и рассматриваемые варианты [1, 2, 3] навесных вентилируемых фасадов отвечают не всем поставленным к ним требованиям.

Анализ достижений и публикаций.

Известный вариант навесного вентилируемого фасада [4] содержит облицовочные панели, закрепленные на вертикально ориентированных профильных направляющих, кронштейны для крепления направляющих, слой минераловатного утеплителя, ветрогидроизоляционный слой и элементы крепления. Недостатком такой конструкции вентилируемого фасада является применение минераловатного утеплителя, который не является экологически безопасным и способен накапливать влагу, при этом теряя свои теплоизоляционные свойства. Вследствие этого, в конструкции вентилируемого фасада появляется необходимость устройства ветрогидроизоляционной мембраны, которую необходимо смонтировать единым, неразрывным слоем, а это, в свою очередь, невозможно, так как необходимо предусмотреть крепление кронштейнов с профильными направляющими. Также, все эти, применяемые в настоящее время материалы, в вентилируемом фасаде, способствуют удорожанию и увеличению трудоемкости конструкции в целом.

В статье [5] производился поиск и сравнение вариантов утепления наружных стен. В ходе поиска и анализа существующих вариантов утепления в статье [5] был предложен и подробно рассмотрен вариант навесного вентилируемого фасада с утеплением из керамзита. Было проведено сравнение физико-механических свойств утеплителей, из которого видно, что керамзит является экологически чистым и пожаробезопасным материалом. Также был произведен стоимостной расчет применения как керамзита, так и других вариантов утеплителей. Из расчета [5] видно, что керамзит является экономически рентабельным в конструкции вентилируемого фасада, но за счет высокого значения коэффициента теплопроводности необходимо увеличивать толщину утепления для достижения минимально допустимого сопротивления теплопередачи конструкции стены [6]. Впоследствии, это ведет к удорожанию несущих элементов вентилируемого фасада.

Исследовательская часть.

Все выше перечисленные недостатки применения керамзита и минеральной ваты в качестве утеплителя стен в вентилируемом фасаде способствуют дальнейшему поиску энергоэффективного, экологически чистого и пожаробезопасного утеплителя в конструкции вентилируемого фасада.

Задаваясь вопросом о поиске альтернативного утеплителя в конструкции навесного вентилируемого фасада, были проанализированы утеплители с учетом следующих свойств: энергоэффективность, экологичность, пожаро-безопасность и экономическая целесообразность.

ность. Также для поиска утеплителя было задано требование технологичности в процессе монтажа, что подразумевает использование материала с низкой плотностью, либо сыпучий материал. В результате поиска был выявлен утеплитель, соответствующий заданным требованиям. Таким утеплителем является пеностекло.

Пеностекло – материал ячеистого строения, получаемый спеканием смеси стекольного порошка с газообразователями (известняк, мрамор, каменный уголь); обладает высокими теплоизолирующими и звукопоглощающими свойствами [7]. Пеностекло выпускается в форме блоков, плит, гранул гравия и щебня.

В настоящее время пеностекольный гравий и пеностекольный щебень используются только при утеплении перекрытий или в колодцевой кладке, то есть при утеплении горизонтальной поверхности.

Предполагаемая конструкция навесного вентилируемого фасада будет состоять из следующих этапов: к стене крепятся металлические консоли, для уменьшения мостика холода между консолями и стеной устанавливается прокладка из этилен-пропиленового каучука, далее к консолям закрепляются вертикальные направляющие, на которые устанавливается сетка, удерживающая утеплитель. Засыпается пеностекольный гравий фракцией от 10 до 20 мм или пеностекольный щебень, фракцией от 30 до 60 мм. Сетка закрепляется контррейкой, на которую, в свою очередь, крепится облицовка. В качестве облицовки можно использовать: алюминиевые композитные панели, фиброцементные фасадные плиты, кермогранит, блок хаус и все виды сайдинга (рис. 1). В зависимости от засыпки, будет меняться как сопротивление теплопередаче и температурно-влажностной режим ограждающей конструкции, так и нагрузка на подконструкцию вентилируемого фасада.

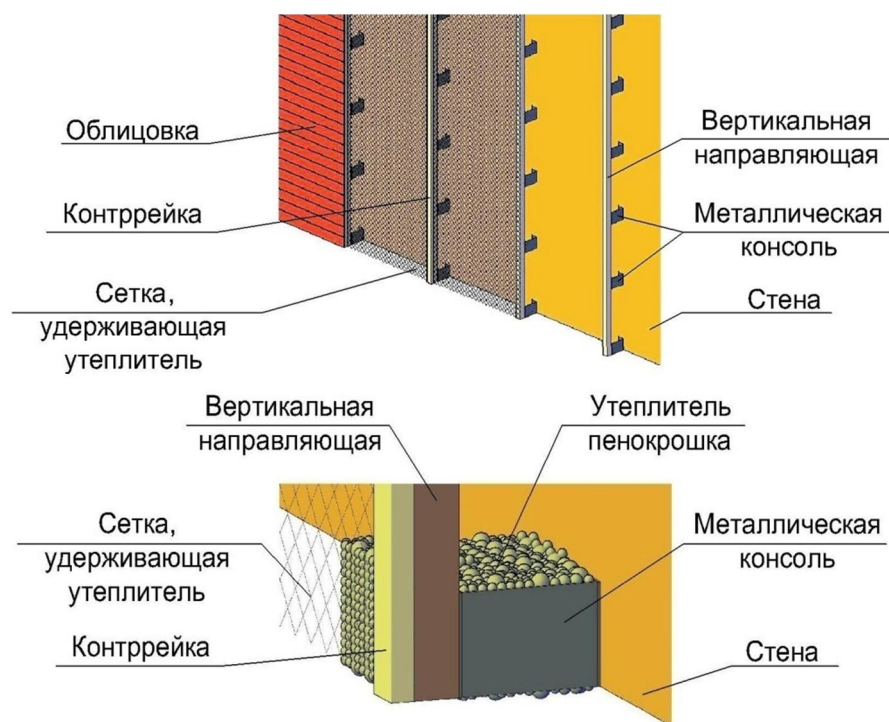


Рисунок 1 – Предполагаемая конструкция вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла

Проводя теплотехнический расчет конструкции вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла в соответствии с требованиями [6], было обнаружено следующее: теплотехнические показатели для пеностекла отсутствуют в нормах [6], а содержащаяся информация о теплотехнических свойствах пеностекла в нормах [8, 9, 12] корректна только для блочного пеностекла с минимальной плотностью 200 кг/м^3 .

Используя данные строительной климатологии [10] для города Симферополь, было получено требуемое сопротивление стены, равное $2,34 \text{ (м}^2 \cdot \text{°C)/Вт}$.

Для анализа теплотехнического расчета будет служить наиболее часто применяющаяся конструктивная система зданий, а именно каркасная или каркасно-каменная, где заполнением будет служить природный местный материал, известняк-ракушечник.

Задача расчета состоит в том, чтобы понять, способен ли паропроницаемый материал известняк-ракушечник применяться с утеплителем пеностеклом, который в блочном виде имеет паронепроницаемые свойства.

Для упрощения расчета и информационной наглядности была выбрана программа, теплотехнический калькулятор – SmartCalc. Данная программа [11] отвечает требованиям [8, 12, 13, 14]. Все полученные результаты с помощью программы имеют исключительно аналитический характер и будут служить для дальнейшего проектирования конструкции вентилируемого фасада с утеплителем из пеностекла и материалом для проведения испытания конструкции в целом.

На первом этапе расчета были внесены данные об утеплителе пеностекло в соответствии с данными строительных норм [8, 12], а именно плотность 200 кг/м^3 , удельная теплоемкость $0,84 \text{ кДж/(кг}\cdot\text{°C)}$, коэффициент теплопроводности $0,09 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{°C)}$, паропроницаемость $0,03 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$. Расчет толщины утеплителя пеностекло начинаем для железобетона. Так как теплопроводность у железобетона выше, чем у ракушечника, следовательно, и толщина утепления будет больше (рис. 2).

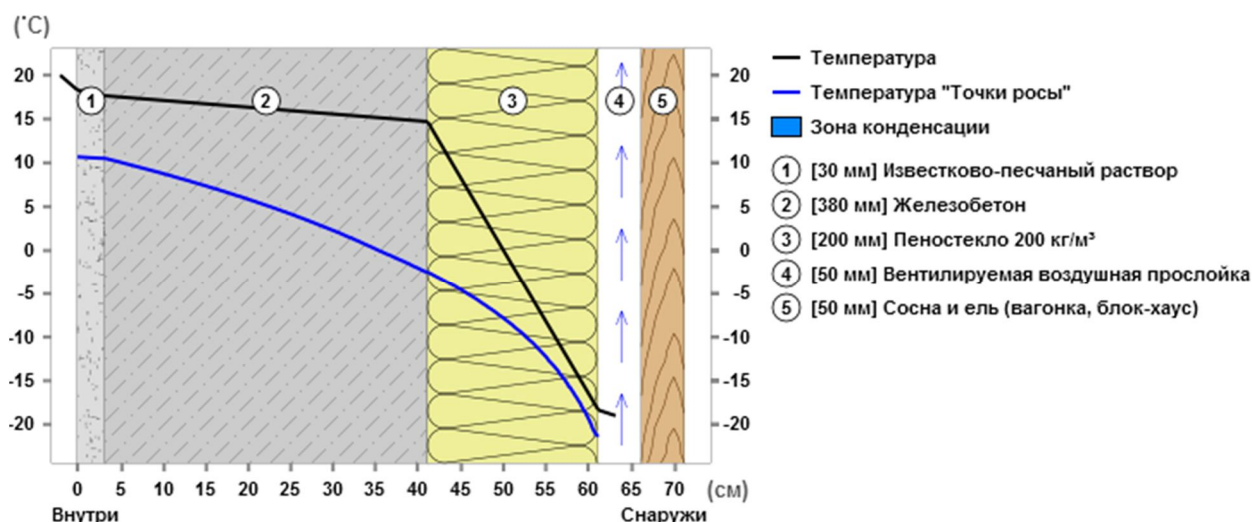


Рисунок 2 – График распределения температур при коэффициентах паропроницаемости железобетона и пеностекла равными $0,03 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$

Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции (рис. 2) равно $2,45 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$. Данный результат больше требуемого, $2,34 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$, что отвечает требованиям норм [6]. Как видно из рисунка 2, в конструкции не образуется зона конденсации влаги, что ведет к нормальному температурно-влажностному режиму работы конструкции.

На рисунок 3 показано, что при использовании в качестве заполнения железобетонного каркаса известняка-ракушечника с плотностью 1400 кг/м^3 и с коэффициентом паропроницаемости $0,11 \text{ мг/(м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па)}$ в толще утеплителя будет конденсироваться влага. Сопротивление теплопередаче данной ограждающей конструкции равно $2,93 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)/Вт}$. Чтобы минимизировать выпадение конденсата и возможное его дальнейшее накопление в толще известняка-ракушечника, необходимо применять большей плотности ракушечник, например, с плотностью 1800 кг/м^3 , и с внутренней стороны предусмотреть пароизоляцию (рис. 4), либо в качестве отделки применять паронепроницаемые материалы: виниловые обои, керамическую плитку.

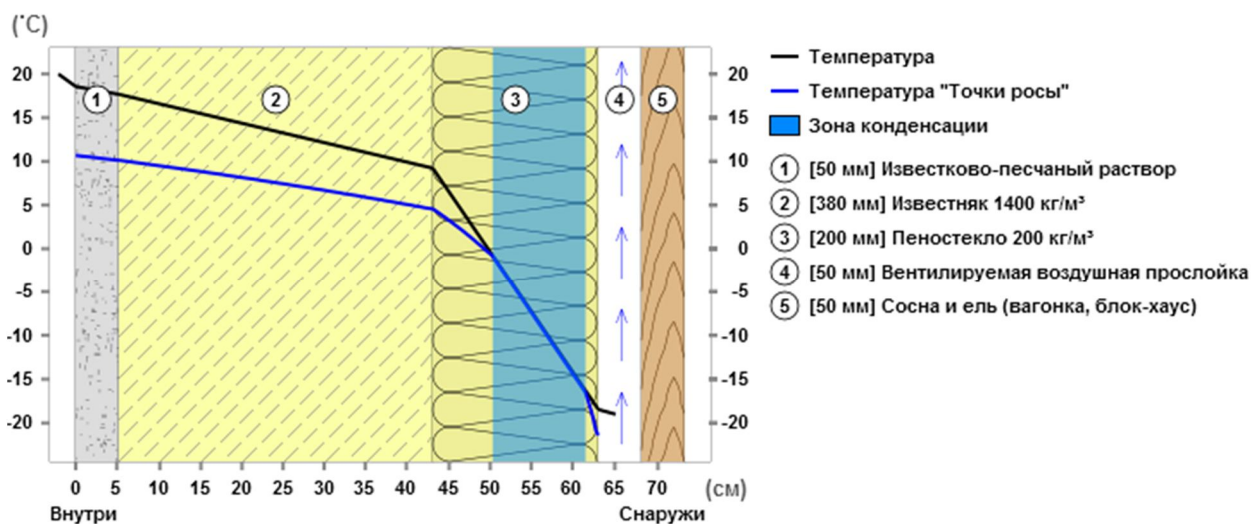


Рисунок 3 – График распределения температур при коэффициентах паропроницаемости известняка-ракушечника и пеностекла равными $0,11 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ и $0,03 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ соответственно

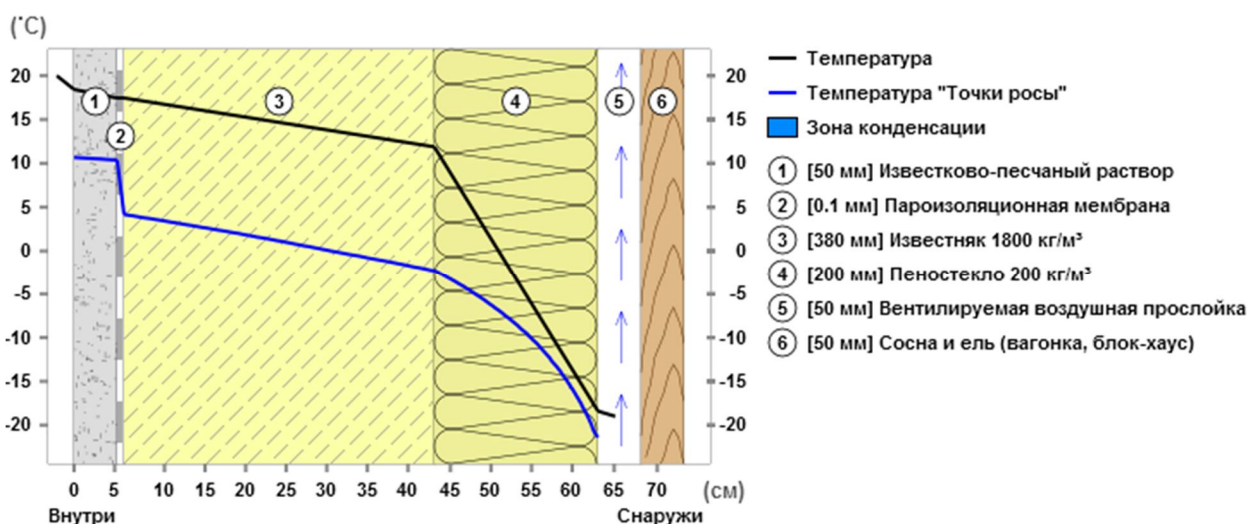


Рисунок 4 – График распределения температур при коэффициентах паропроницаемости известняка-ракушечника и пеностекла равными $0,075 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ и $0,03 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ соответственно

Следующий расчет навесного вентилируемого фасада сводится к данным, полученным от производителя пеностекла [15], а именно плотность пеностекляного гравия $135\text{-}140 \text{ кг}/\text{м}^3$, удельная теплоемкость $0,84 \text{ кДж}/(\text{кг}\cdot\text{°C})$, коэффициент теплопроводности $0,082\text{-}0,085 \text{ Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{°C})$, паропроницаемость $0,20 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, влажность 2,7%, фракция 30-60 мм. Как видно из расчета (рис. 5), в конструкции стены из известняка-ракушечника с плотностью $1400 \text{ кг}/\text{м}^3$ и с коэффициентом паропроницаемости $0,11 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$, и вентилируемым фасадом с утеплителем из пеностекляного гравия (используя теплотехнические свойства производителя пеностекла [15]) не образуется конденсат. Сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (рис. 5) равно $3,13 \text{ (м}^2\cdot\text{°C)}/\text{Вт}$, результат удовлетворяет требования норм [6]. Приводимые производителем теплотехнические данные пеностекляного гравия [15] не являются сертифицируемыми и нуждаются в проведении эксперимента.

Следует отметить, что в конструкцию вентилируемого фасада утеплитель будет засыпаться в виде пеностекляного гравия или пеностекляного щебня. При засыпке утеплителя в подконструкцию вентилируемого фасада будут образовываться воздушные полости, которые будут увеличивать паропроницаемость конструкции стены в целом. С теоретической точки зрения, это приведет к тому, что ни в толще утеплителя, ни в толще несущей части стены не будет конденсироваться влага. Для подтверждения данной теории, необходимо провести эксперимент.

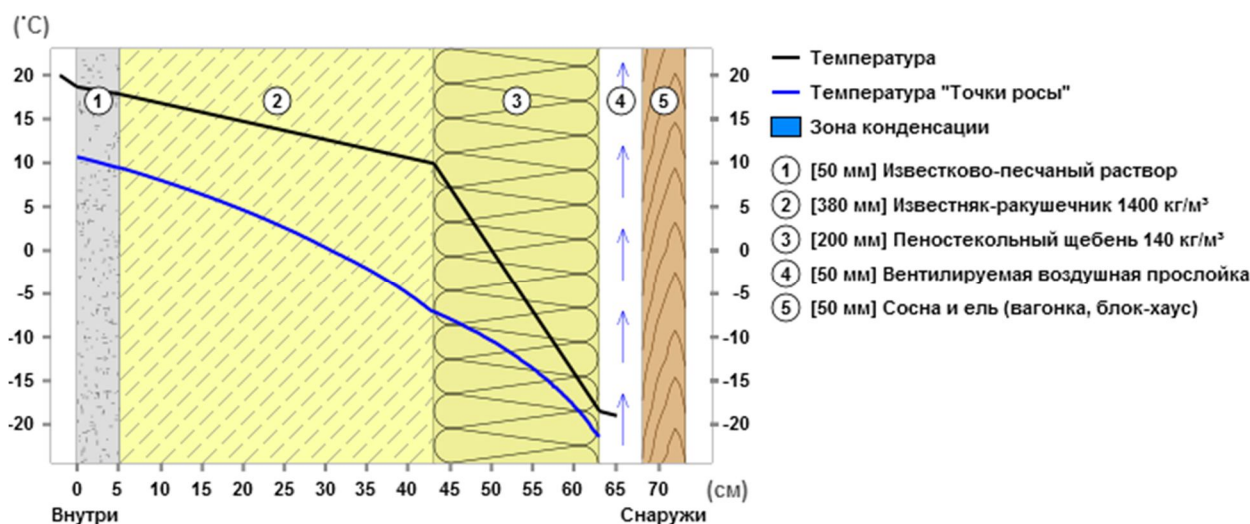


Рисунок 5 – График распределения температур при коэффициентах паропроницаемости известняка-ракушечника и пеностекла равными $0,11 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ и $0,20 \text{ мг}/(\text{м}\cdot\text{ч}\cdot\text{Па})$ соответственно

Выводы

Из проанализированного материала и полученных результатов следует отметить, что предлагаемая конструкция вентилируемого фасада отличается от традиционной конструкции вентилируемого фасада следующими факторами:

- замена минеральной ваты на экологически чистый, пожаробезопасный, влагоустойчивый и энергоэффективный утеплитель пеностекло;
- снижение затрат на стоимость утеплителя и комплектующих;
- уменьшение трудоемкости в процессе монтажа.

Учитывая все положительные свойства пеностекла, необходимо более детально рассмотреть конструкцию навесного вентилируемого фасада, где в качестве утеплителя используется пеностеклянный гравий или щебень.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагарин В.Г. Теплофизические свойства стеновых ограждающих конструкций [Текст] / В.Г. Гагарин / СОК, №1/2012. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/teplofizicheskie-svoystva-stenovyh-ograzhdayuschih-konstrukcii>.
2. Собинова, К.С. Анализ существующих систем теплоизоляционной отделки фасадов / К.С. Собинова, О.А. Ожищенко, Н.В. Савицкий / Вестник Приднепровской государственной академии строительства и архитектуры. – 2013. – №1-2. – С. 59-64. [Электронный ресурс]. – URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia_2013_1-2_14.pdf.
3. Немова, Д.В. Навесные вентилируемые фасады: обзор основных проблем [Текст] / Д.В. Немова / Инженерно-строительный журнал. №5/2010/С. 7-11. [Электронный ресурс]. – URL: http://www.engstroy.spb.ru/index_2010_05/nemova.html.
4. Полезная модель №54056, МПК7: E04B1. Навесной вентилируемый фасад здания [Текст] / А.Б. Жогов [Электронный ресурс]. – URL: <http://poleznayamodel.ru/model/5/54056.html>.
5. Чебышев, М.В. Инновации в устройстве вентилируемого фасада [Текст] / М.В. Чебышев // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. – Симферополь: НАПКС, 2013. – Вып. 41. – С. 196-200.
6. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий [Текст]. – М., 2012.
7. Словарь терминов [Текст]. [Электронный ресурс]. – URL: <http://izolconstruct.md/ru/catalog/krovlya/slovar-krovelnyh-terminov>.
8. СНиП 23-02-2003. Тепловая защита зданий [Текст]. – М., 2004.
9. ДБН В.2.6-31:2006. Конструкции зданий и сооружений. Тепловая изоляция зданий [Текст]. – У., 2006.
10. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Строительная климатология [Текст]. – У., 2011.
11. Теплотехнический калькулятор – SmartCalc. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.smartcalc.ru>.
12. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий [Текст]. – М., 2004.
13. ГОСТ Р 54851-2011. Конструкции строительные ограждающие неоднородные. Расчет приведенного сопротивления теплопередаче [Текст]. – М., 2011.
14. СТО 00044807-001-2006. Теплозащитные свойства ограждающих конструкций зданий [Текст]. – М., 2006.

15. Электронный ресурс – URL: http://vezuteplo.ru/penostekolnyj_shheben.

Чебышев Максим Викторович

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, г. Симферополь
Аспирант кафедры «Геометрическое и компьютерное моделирование энергоэффективных зданий»
Тел.: +7 918 899 35 49
E-mail: maximchebyshev@gmail.com

M. CHEBYSHEV

**THE CONCEPTION OF A VENTILATED FACADE
WITH FOAM GLASS INSULATION**

The paper proposes the idea of using energy-efficient, environment-oriented, durable insulation to fill the ventilated facade in energy-efficient building construction. Here the conceptual model of the ventilated facade construction with the application of foam crumb is examined.

Keywords: ventilated facade, energy-efficiency, insulation, foam glass, foam crumb.

BIBLIOGRAPHY

1. Gagarin V.G. Teplofizicheskie svoystva stenovykh ograzhdajushhih konstrukcij [Tekst] / V.G. Gagarin / SOK, №1/2012. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.c-o-k.ru/articles/teplofizicheskie-svoystva-stenovyh-ograzhdayuschih-konstrukcij>.
2. Sobinova, K.S. Analiz sushhestvujushhih sistem teploizoljacionnoj otdelki fasadov / K.S. Sobinova, O.A. Ozhishhenko, N.V. Savickij / Vestnik Pridneprovskoj gosudarstvennoj akademii stroitel'stva i arhitektury. – 2013. – №1-2. – S. 59-64. [Elektronnyj resurs]. – URL: http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vpabia_2013_1-2_14.pdf.
3. Nemova, D.V. Navesnye ventiliruemye fasady: obzor osnovnykh problem [Tekst] / D.V. Nemova / Inzhenernostroitel'nyj zhurnal. №5/2010/S. 7-11. [Elektronnyj resurs]. – URL: http://www.engstroy.spb.ru/index_2010_05/nemova.html.
4. Poleznaja model' №54056, MPK7: E04B1. Navesnoj ventiliruemyj fasad zdanija [Tekst] / A.B. Zhogov [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://poleznayamodel.ru/model/5/54056.html>.
5. Chebyshev, M.V. Innovacii v ustrojstve ventiliruemogo fasada [Tekst] / M.V. Chebyshev // Stroitel'stvo i tehnogennaja bezopasnost'. Sb. nauch. trudov. – Simferopol': NAPKS, 2013. – Vyp. 41. – S. 196-200.
6. SP 50.13330.2012. Teplovaja zashhita zdanij [Tekst]. – M., 2012.
7. Slovar' terminov [Tekst]. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://izolconstruct.md/ru/catalog/krovlya/slovar-krovelnyh-terminov>.
8. SNiP 23-02-2003. Teplovaja zashhita zdanij [Tekst]. – M., 2004.
9. DBN V.2.6-31:2006. Konstrukcii zdanij i sooruzhenij. Teplovaja izoljacija zdanij [Tekst]. – U., 2006.
10. DSTU-N B V.1.1-27:2010. Stroitel'naja klimatologija [Tekst]. – U., 2011.
11. Teplotehnicheskij kal'kuljator – SmartCalc. [Elektronnyj resurs]. – URL: <http://www.smartcalc.ru>.
12. SP 23-101-2004. Proektirovanie teplovoj zashhity zdanij [Tekst]. – M., 2004.
13. GOST R 54851-2011. Konstrukcii stroitel'nye ograzhdajushhie neodnorodnye. Raschet privedennogo soprotivlenija teploperedache [Tekst]. – M., 2011.
14. STO 00044807-001-2006. Teplozashhitnye svoystva ograzhdajushhih konstrukcij zdanij [Tekst]. – M., 2006.
15. Elektronnyj resurs – URL: http://vezuteplo.ru/penostekolnyj_shheben.

M. Chebyshev

National academy of environmental protection and resort development, Simferopol
Postgraduate student of the department «Geometric and computer design of energy-efficient buildings»
Ph.: +7 918 899 35 49
E-mail: maximchebyshev@gmail.com

УДК 624.1 (078.5)

БУЛГАКОВ А.Г., ЕМЕЛЬЯНОВ С.Г., ПАРШИН Д.Я.

СТРОИТЕЛЬНО-МОНТАЖНЫЙ РОБОТИЗИРОВАННЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КРУПНОПАНЕЛЬНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ

В статье представлены принципы построения и структурной организации роботизированного монтажного комплекса. В докладе сформулирован общий подход к построению структурной модели упругих манипуляторов, которые можно представить в виде совокупности последовательно соединенных упруго деформирующихся тел, и предложена методика перехода к такой структуре. В докладе подробно описан метод построения математических моделей манипуляторов с упругими связями, основанный на принципе конечных разбиений, отличающийся введением фиктивных степеней подвижности в точках критичных к деформации. Рассмотрены вопросы построения модели взаимодействия манипуляторов робототехнического комплекса, при выполнении установочных операций, а так же предложена методика вычисления моментов для управления монтажным комплексом. Также рассмотрен пример построения модели строительно-монтажного робота на основе предложенного метода. В статье представлены алгоритмы планирования траекторий движения строительных роботов в соответствии с заданными опорными точками на основе интерполяции двухуровневой. Особенностью предлагаемой концепции является расчет скоростей в промежуточных точках траектории с учетом ограничений управляющих моментов. Сочетание аналитических и поисковых методов вычисления позволяет получать решение за интервал управления.

Ключевые слова: *строительство, крупнопанельные здания, монтаж, строительные роботы, математические модели, управление движением, оптимизация скорости, планирование траекторий.*

1 Введение

Механизация и автоматизация строительных работ с помощью традиционных методов не всегда позволяют достичь цели. Внедрение роботов способствует изменению технологии строительства и переносит его на новый уровень. На основе технологического и экономического анализа этих видов работ определены предпочтительные технологические операции, являющиеся предметом роботизации. Анализ развития робототехники в области строительства показывает, что положительный эффект может быть достигнут только при создании роботов специального назначения, с учетом технологических, конструктивных и эксплуатационных особенностей строительных работ в полном объеме. Наибольший практический интерес представляют монтажные операции.

Роботизация монтажных работ связана с осуществлением предварительной установки, ориентации и окончательной установки компонентов и конструкций. Кроме того, компоненты для установки имеют большие размеры и вес, отличаются отношением габаритов и порядком фиксации в проектное положение. Развитие крепежных роботов и роботизированных монтажных технологий связано с решением сложных задач разработки кинематических структур, математического и алгоритмического обеспечения.

Перспективным направлением автоматизации монтажа крупнопанельных зданий является создание роботизированных монтажных комплексов с интерактивным и адаптивным управлением. В процессе монтажа стеновых панелей возникает задача позиционирования и удержания панели в проектное положение при ее установке и фиксации. Введение в состав комплекса монтажного установочного робота позволяет механизировать и автоматизировать процесс ориентации и установки монтируемых конструкций.

Особенностью построения строительных роботов является необходимость учета упругих деформаций звеньев манипуляционной систем, возникающих при действии динамических

нагрузок. В результате, управление строительными роботами должно проводиться с учетом упругих деформаций звеньев манипулятора. В статье рассматриваются проблемы построения математических моделей для строительных роботов с учетом упругих деформаций звеньев манипулирования, которые появляются под влиянием динамического и ветровых нагрузок.

Управление строительными роботами требует решения задачи планирования траекторий движения. При этом, для повышения быстродействия и устойчивости управления, формирование траектории должно производиться с учетом задания переменной скорости с возможностью последующей ее оптимизацией. Кроме того, планирующие алгоритмы должны иметь объем вычислений, обеспечивающий получение управляющей информации для степеней подвижности за интервал управления. Это делает проблематичным использование традиционных методов планирования, основанных на применении аппроксимирующих сплайнов степенных функций третьего и более высоких порядков, с последующей их оптимизацией классическими методами. Для решения поставленной задачи в качестве основы алгоритма планирования движения предлагается использовать двухуровневую интерполяцию, что позволяет сократить зону поиска скоростей с учетом ограничений и значительно повысить скорость вычислений.

2. Принципы построения монтажного комплекса

При монтаже высотных зданий одним из перспективных направлений является создание роботизированных монтажных комплексов, выполненных на базе башенного крана с программным управлением и монтажного робота (рис. 1) [1]. Основу монтажного комплекса составляют башенный кран и позиционирующий робот, взаимодействующие совместно с монтируемой стеновой панелью.

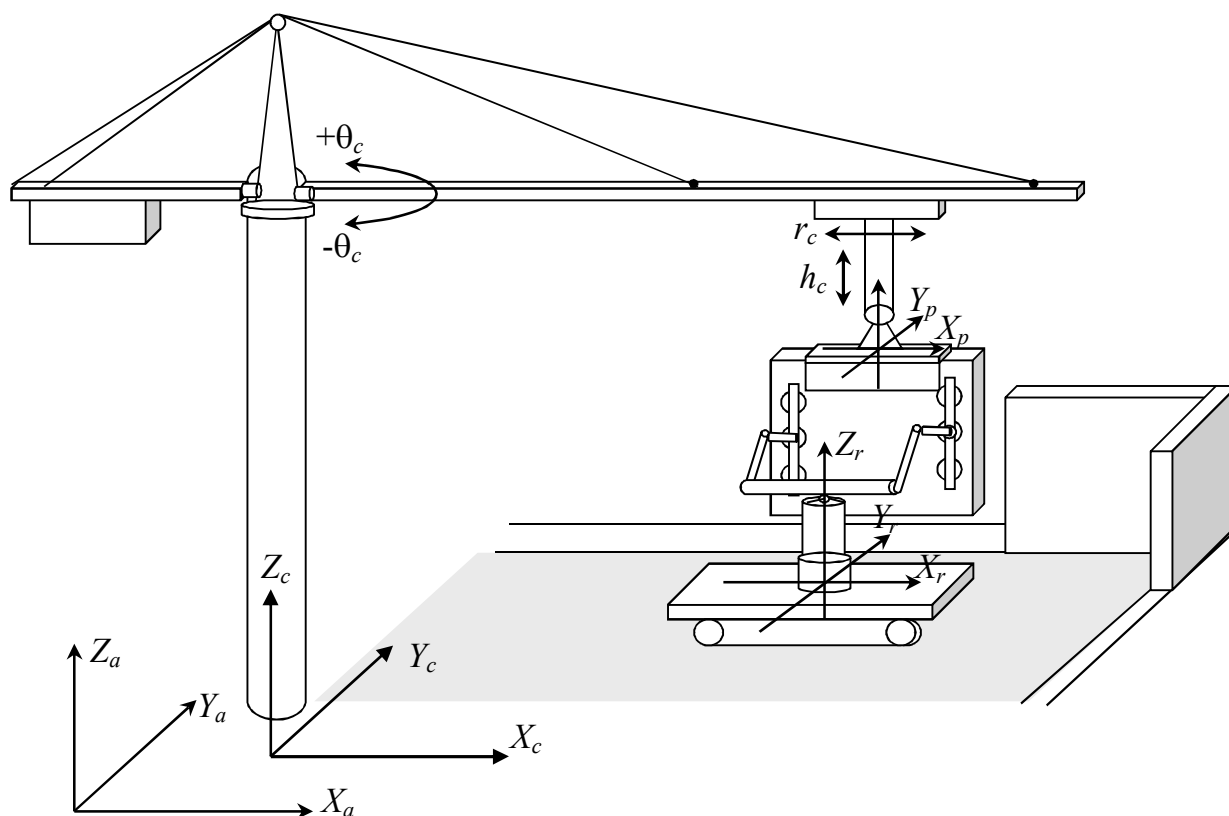


Рисунок 1 – Роботизированный монтажный комплекс

Функции между краном и монтажным роботом распределены следующим образом [2]. Кран доставляет панель к месту монтажа и удерживает ее в процессе установки и ориентирования, а позиционирующий робот выполняет пространственное ориентирование панели перед

установкой. Взаимодействие крана и робота в зоне установки панели организуется таким образом, что кран не препятствует свободному перемещению и повороту панели, а робот обеспечивает позиционирование и ориентацию без значительных нагрузок на манипуляционную систему.

Структурная организация роботизированного монтажного комплекса представлена на рисунке 2. Башенный кран, входящий в состав в состав комплекса, оснащен специальной автоматизированной траверсой и системой программного управления. На основе управляющих векторов $\mathbf{q}_k, \dot{\mathbf{q}}_k$ и текущего положения обобщенных координат \mathbf{g}_k и обобщенных скоростей $\dot{\mathbf{g}}_k$ система управления крана вырабатывает управляющие силы и моменты $\boldsymbol{\mu}_k$.



Рисунок 2 – Структура роботизированного монтажного комплекса

Монтажный робот снабжен 2-мя манипуляторами и подвижной платформой. Как показали исследования, использование 2-х манипуляторов обеспечивает надежную стыковку с панелью и выполнение установочных операций при небольших статических и динамических нагрузках на манипуляционную систему. Монтажный робот оснащен системой программного управления (СПУ) с элементами адаптации. Важной составляющей комплекса является информационно-измерительная система (ИИС), в функции которой входит контроль положения и ориентации монтируемой панели, а также привязка платформы робота к проектным осям возводимого объекта. Основу ИИС составляют лазерные датчики и фотоматричные преобразователи, размещаемые на траверсе и на захватных устройствах манипуляторов. ИИС формирует вектор состояния комплекса \mathbf{X}_p , на основе которого устройство синхронизации и управления (УСУ) верхнего уровня осуществляет планирование движений механизмов комплекса.

В комплексе реализована 3-х уровневая система управления. Устройство синхронизации и управления верхнего уровня на основе планирующих алгоритмов формирует управляющие вектора $\mathbf{q}_r, \dot{\mathbf{q}}_r$ для системы управления робота и вектора $\mathbf{q}_k, \dot{\mathbf{q}}_k$ для системы управления крана. Причем формирование векторов осуществляется с учетом ветровой нагрузки и упругих деформаций. Учитывая сложность и ответственность выполняемых операций, необходимость синхронизации работы механизмов комплекса, планирование движений крана и робота выполнено на основе моделирования хода установочного процесса. Используемые для этого модели комплекса построены на основе учета распределения функций, выполняемых краном и монтажным роботом. В процессе позиционирования и установки панели к крану не предъявляются высоких требований по динамическим характеристикам, в то время как робот должен обеспечить высокую точность позиционирования. Поэтому управление краном реализовано с помощью кинематических алгоритмов на основании спланированной траектории $\mathbf{q}_k, \dot{\mathbf{q}}_k$. Требования высокой точности позиционирования монтажного робота и широкий диапазон изменения нагрузок привода манипуляторов вызывают необходимость использования для управления роботом динамических законов управления. При этом на верхнем уровне вы-

числяются обобщенные моменты, необходимые для преодоления сопротивления панели M_p , на среднем – моменты, обусловленные динамическими свойствами каждого манипулятора в отдельности \dot{g}_k .

3. Математическая модель манипуляторов позиционирующего робота

Сформулируем общую концепцию построения структуры упругих манипуляторов монтажных роботов. В соответствии с принципом конечных разбиений такие манипуляторы можно рассматривать как совокупность последовательно упруго соединенных жестких тел. На основе этого предложено при построении моделей упругих манипуляторов рассматривать их в виде структуры, которая наряду с фактическими степенями подвижности содержит фиктивные, имитирующие упругие деформации звеньев (рис. 3).

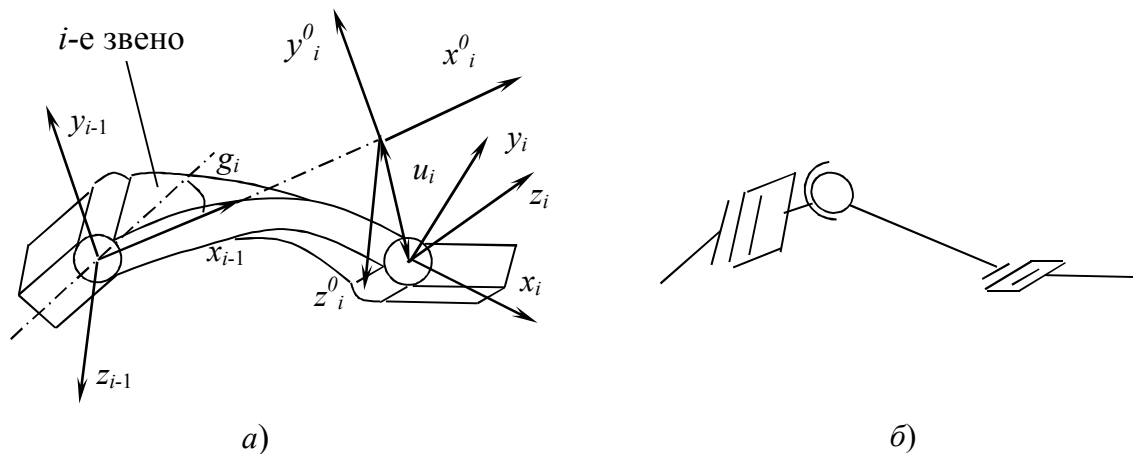


Рисунок 3 – Деформация звена манипулятора

Переход к такой структуре выполняется на основе анализа манипуляционной системы с целью определения для деформируемых звеньев точек, наиболее критичных к деформации (ТКД). В качестве таких точек, выбираются те, в которых отношение предельного напряжения при работе манипулятора к удельной деформации элемента конструкции достигает максимума.

Элемент конструкции, которому принадлежит ТКД, разбивается в этой точке на два тела, соединенные фиктивным шарниром (рис. 1, б). При построении математической модели шарнир заменяется тремя взаимно перпендикулярными вращательными степенями подвижности с центром вращения, совпадающим с ТКД. Однако, в зависимости от вида деформации звеньев, число степеней подвижности фиктивного шарнира может быть уменьшено до одного. Введение фиктивных степеней подвижности позволяет учесть смещения, обусловленные наличием упругих деформаций. При построении динамической модели такой структуры манипулятора вводим уравнения для обобщенных сил фиктивных звеньев для учета сил упругости. Параметры их уравнений идентифицируются из условия наибольшего соответствия математической модели реальному манипулятору. Если не удастся получить требуемую точность параметров модели, то производится поиск еще одной ТКД с последующим введением в модель фиктивных степеней подвижности.

Для математического описания предлагаемой структуры манипулятора используем матричный метод [3]. В соответствии с матрицей преобразования систем координат робота. $T_c(\mathbf{q}_c) = T_{bc} \cdot A_0(\mathbf{q}_c)$ Декартовы координаты рабочего органа манипулятора равны:

$$\bar{\mathbf{x}}(\mathbf{q}) = \mathbf{f}(\mathbf{q}, \mathbf{dx}) = \left\{ (T(\mathbf{q}) \cdot \Delta \mathbf{x})_j \right\}_j, \quad (1)$$

где $\Delta \mathbf{x}$ – координаты инструмента или схвата в системе координат выходного звена манипулятора.

Ориентацию рабочего органа определим из сравнения элементов подматрицы поворота

матрицы $T_c(\mathbf{q})$ и матрицы вращения углов Эйлера, в результате получим:

$$\varphi = \begin{pmatrix} \arctg2(-T^{(1,2)}, T^{(2,2)}) \\ \arcsin T^{(3,2)} \\ \arctg2(-T^{(3,1)}, T^{(3,3)}) \end{pmatrix},$$

где $\arctg2(\cdot)$ – функция обратная тангенсу.

Для удобства анализа моделей манипулятора разобьем обобщенные координаты на управляемые $\mathbf{q}' = (q_1, q_2, \dots, q_m)^T$ и обобщенные координаты, описывающие деформацию элементов манипулятора $\mathbf{q}'' = (q_1, q_2, \dots, q_{n-m})^T$, при этом $\mathbf{q} = \mathbf{q}' \cup \mathbf{q}''$.

При решении обратной задачи о положении и скорости относительно управляемых координат \mathbf{q}' считаем, что фиктивные обобщенные координаты \mathbf{q}'' и их скорости $\dot{\mathbf{q}}''$ известны (измерены или рассчитаны на модели). Аналитическое решение нелинейного тригонометрического уравнения (1) относительно переменных \mathbf{q}' затруднено наличием нелинейностей. Для управления строительными роботами решение обратной задачи кинематики удобно выполнять на основе использования итерационного приближения и построения алгоритма численного решения нелинейного тригонометрического уравнения. Для этого, произведя преобразования уравнения (1) и используя разложение в ряд Макларена относительно q_1', q_2', \dots, q_n' в точках $q_1' = q_1'^{(i)}, q_2' = q_2'^{(k)}, \dots, q_n' = q_n'^{(k)}$, получим:

$$\Delta q_i^{(k)} = - \sum_{j=1}^3 \xi_j(q_1^{(i)}) \left/ \frac{d\xi_j(q_1)}{dq_1} \right|_{q_1=q_1^{(i)}}, \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где i – номер итерации приближения.

Переход между итерациями осуществляем по формуле:

$$q_1'^{(k+1)} = q_1'^{(k)} + \Delta q_1'^{(k)}.$$

Итерации начинаются со значения $q_i' = q_i'^{(0)}$, где $q_i'^{(0)}$ – текущее положение, и продолжаются, пока не выполнится условие:

$$q_i' - q_i'^{(k)} < \varepsilon_i,$$

где ε_i – точность позиционирования.

Решение прямой задачи кинематики для скорости и ускорения получим дифференцированием уравнения (1).

$$\dot{\mathbf{x}} = G(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}, \quad \ddot{\mathbf{x}} = G(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \ddot{\mathbf{q}} + \dot{G}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}},$$

где $G(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x})$ – матрица $[3 \times n]$ Якобиана равная:

$$G(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) = \{U_{ni}^{(jm)}(\mathbf{q}) \cdot \Delta \mathbf{x}\}_{j,i}, \quad \dot{G}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \Delta \mathbf{x}) = \left\{ \left(\sum_{k=1}^i U_{nik}(\mathbf{q}) \Delta \mathbf{x} \cdot \dot{q}_k \right) \right\}_{j,j,i},$$

$$i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, 3}.$$

Произведя разделение обобщенных координат на управляемые и неуправляемые, получим:

$$\dot{\mathbf{x}} = G'(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}' + G''(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}'',$$

$$\ddot{\mathbf{x}} = G'(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \ddot{\mathbf{q}}' + G''(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \ddot{\mathbf{q}}'' + G(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}.$$

Обобщенные скорости и ускорения управляемых координат вычисляется из выражений:

$$\dot{\mathbf{q}}' = G'(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x})^{-1} (\dot{\mathbf{x}} - G''(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}''),$$

$$\ddot{\mathbf{q}}' = G'(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x})^{-1} (\ddot{\mathbf{x}} - G''(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \ddot{\mathbf{q}}'' - G(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}, \Delta \mathbf{x}) \cdot \dot{\mathbf{q}}).$$

Динамику робота с учетом сил, возникающих в упругих элементах, опишем зависимостью:

$$\mathbf{M} = D(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{b}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \sum_{k=1}^l G^T(\mathbf{q}, \Delta \mathbf{x}^{(k)}) \mathbf{F}_s^{(k)} - \mathbf{M}_w \quad (2)$$

откуда $\ddot{\mathbf{q}} = D^{-1}(\mathbf{q}) \left(\mathbf{M} - \mathbf{b}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) + \sum_{k=1}^l G^T(\Delta \mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{q}) \mathbf{F}_s^{(k)} + \mathbf{M}_w \right)$,

где \mathbf{M} – вектор $[n \times 1]$ обобщенных сил, возникающих в сочленениях манипулятора; $D(\mathbf{q})$ – матрица динамики $[n \times n]$, элементы которой равны; $\mathbf{b}(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}})$ – вектор $[n \times 1]$ кориолисовых, центробежных и гравитационных сил; $\mathbf{F}_s^{(k)}$ – вектор сил $[3 \times 1]$, возникающий в k -й точке взаимодействия рабочего органа с поверхностью; $\Delta \mathbf{x}^{(k)}$ – вектор $[3 \times 1]$ смещения точки приложения k -й внешней силы; \mathbf{M}_w – вектор $[n \times 1]$ обобщенных сил, возникающих в упругих элементах звеньев манипулятора.

Используя оператор разделения обобщенных координат робота \mathbf{q} на управляемые \mathbf{q}' и введенные для имитации упругой деформации \mathbf{q}'' , преобразуем уравнение (2) к виду:

$$\mathbf{M}' = D'(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}' + \check{D}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}'' + \mathbf{b}'(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \sum_{k=1}^3 G'^T(\mathbf{d}\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{q}) \mathbf{F}_s^{(k)} - \mathbf{M}'_w,$$

$$\mathbf{M}'' = \check{D}^T(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}' + D''(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}}'' + \mathbf{b}''(\mathbf{q}, \dot{\mathbf{q}}) - \sum_{k=1}^3 G''^T(\mathbf{d}\mathbf{x}^{(k)}, \mathbf{q}) \mathbf{F}_s^{(k)} - \mathbf{M}''_w.$$

Полученная модель упруго деформирующейся манипуляционной системы робота в матричном виде удобна для построения модели строительного робота и построения его алгоритмов управления.

Используя описанную методику моделирования манипуляционных систем, построим кинематические и динамические модели манипулятора монтажного робота. Проанализировав предложенную конструкцию манипулятора, определим число степеней подвижности, включая фиктивные. Особенностью манипулятора является возможность появления упругих деформаций последнего звена как наиболее подверженного деформациям из-за большого соотношения длины к площади сечения. В соответствии с изложенной методикой определяем на этом звене ТКД и вводим в него шарнир с двумя взаимно перпендикулярными вращательными парами, оси вращения которых перпендикулярны продольной оси.

В соответствии с рисунком 4 записываем матрицу перехода из абсолютной системы координат, связанной с местом установки робота, в систему координат схвата:

$$T_r(\mathbf{q}_r) = T_{br}(\varphi_{br}, x_{br}) \cdot R(a_{r1}, d_{r1}, \pi/2, q_{r1}) \cdot R(0, 0, \pi/2, \pi/2 + q_{r2}) \cdot R(0, q_{r3}, 0, 0).$$

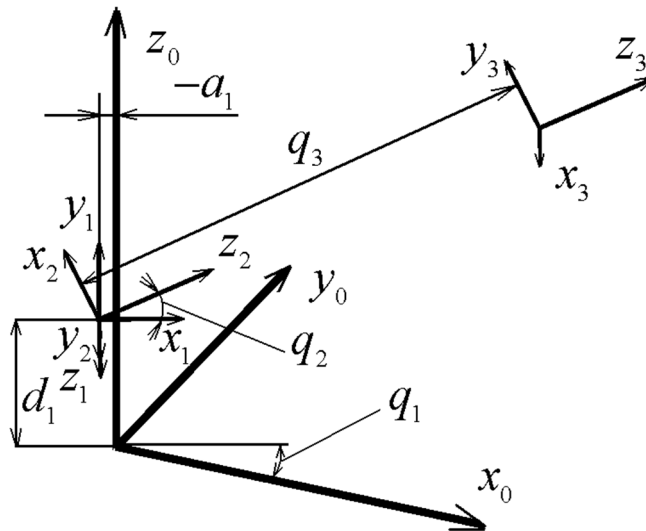


Рисунок 4 – Система координат манипулятора

Тогда прямая задача кинематики относительно точки крепления схвата опишется системой уравнений вида:

$$\mathbf{x}_r(\mathbf{q}_r) = \mathbf{f}_r(\mathbf{q}_r, \mathbf{z}) = \begin{pmatrix} (a_{r1} + q_{r3} \cdot \cos q_{r2}) \cos(q_{r1} + \varphi_{br}) + x_{br1} \\ (a_{r1} + q_{r3} \cdot \cos q_{r2}) \sin(q_{r1} + \varphi_{br}) + x_{br2} \\ d_{r1} + q_{r3} \cdot \sin q_{r2} + x_{br3} \end{pmatrix},$$

Для учета деформации последнего звена введем дополнительные системы координат (рис. 3) в точке критической деформации, расположенной на расстоянии a_5 относительно центра 2-ой степени подвижности. Для удобства отсчета обобщенных координат примем $\theta_{r2} = \pi/2 + q_{r2}$, $\theta_{r4} = 90 + q_{r4}$. $q_{r4} = 0$, $q_{r5} = 0$ и $q_{ж,r3} = q_{д,r3} + a_{д,r5}$. На основании предложенной схемы прямая задача кинематики манипулятора с деформируемым звеном описывается уравнением:

$$\mathbf{x}_r(\mathbf{q}_r) = \begin{pmatrix} \lambda \cdot \cos(q_{r1} + \varphi_{br}) - a_{r5} \cdot \sin q_{r5} \cdot \sin(q_{r1} + \varphi_{br}) + x_{br1} \\ \lambda \cdot \sin(q_{r1} + \varphi_{br}) + a_{r5} \cdot \sin q_{r5} \cdot \cos(q_{r1} + \varphi_{br}) + x_{br2} \\ \sin(q_{r2} - q_{r4}) \cos q_{r5} \cdot a_{r5} + \sin q_{r2} \cdot (q_{r3} + d_{r3}) + d_{r1} + x_{br3} \end{pmatrix},$$

где $\lambda = \cos(q_{r2} - q_{r4}) \cos q_{r5} \cdot a_{r5} + \cos q_{r2} \cdot (q_{r3} + d_{r3}) + a_{r1}$.

Введем разбиение вектора обобщенных координат робота q_r на управляемые $q'_r = (q_{r1} \ q_{r2} \ q_{r3})^T$ и фиктивные $q''_r = (q_{r4} \ q_{r5})^T$.

На базе предложенной кинематической модели строим динамическую модель робота. Уравнение динамики манипулятора k -й руки робота запишем в следующем виде:

$$\mathbf{M}'_r = D'_r \ddot{\mathbf{q}}'_r + \check{D}_r \ddot{\mathbf{q}}''_r + \mathbf{b}'_r + (G'_r)^T (\mathbf{dx}_r, \mathbf{q}_r) \mathbf{F}_s, \quad (3)$$

$$\mathbf{M}''_r = (\check{D}_r)^T \ddot{\mathbf{q}}'_r + D''_r \ddot{\mathbf{q}}''_r + \mathbf{b}''_r + (G''_r)^T (\mathbf{dx}_r, \mathbf{q}_r) \mathbf{F}_s, \quad (4)$$

где \mathbf{dx}_r – смещение места крепления робота с устанавливаемым элементом в системе координат последнего звена.

Обобщенный момент управляемых степеней подвижности $\mathbf{M}'_r^{(k)}$ создается электромагнитными силами приводов робота, а обобщенные силы в фиктивно введенных степенях подвижности равны:

$$\mathbf{M}''_r = -\alpha_r \mathbf{q}''_r - \beta_r \dot{\mathbf{q}}''_r, \quad (5)$$

где α_r , β_r – диагональные матрицы жесткости и диссипации последней руки робота относительно точки, критичной к деформации.

4. Математическая модель монтажного комплекса

Особенностью построения динамической модели роботизированного комплекса является наличие наличия ветвящихся и замкнутых структур. Поэтому использование классических методов связано с определенными трудностями [4]. При использовании модифицированного метода Лагранжа-Эйлера аналитическое представление системы становится громоздким и неудобно для исследования. Использование метода Ньютона требует нахождения минимума функций, что неэффективно с вычислительной точки зрения и неудобно для аналитического исследования. Поэтому математическая модель монтажного комплекса построена в соответствии с принципами декомпозиции и малого перемещения. Используя принцип декомпозиции, получены четыре автономные механические системы, взаимодействие между которыми учитывается по принципу малого перемещения. Его суть заключается в том, что до начала моделирования связанные тела находятся в покое и не воздействуют друг на друга. Начав движение, тела совершают малые перемещения, в соответствии с которыми определяются смещения относительно наложенных связей. Возникающие упругие деформации вызывают силы реакции связей в каждой точке прикрепления робота:

$$\mathbf{N}_k = (\delta + \gamma s)(\mathbf{x}_r^{(k)} - \mathbf{x}_c^{(k)}), \quad k = \overline{1, l}, \quad s \equiv d / dt, \quad (6)$$

где δ, γ – коэффициенты жесткости и диссипации соединения; $\mathbf{x}_r^{(k)}, \mathbf{x}_c^{(k)}$ – векторы (3 x 1) Декартовых координат k -й присоски и места ее крепления.

Таким образом, модель монтажного комплекса состоит из 3-х каналов, моделирующих динамику манипуляторов робота и крана. Сила взаимодействия между ними определяется по формуле (5).

Построение модели башенного крана выполнено с учетом упругих деформаций в конструкции крана, возникающих при воздействии ветровых и динамических нагрузок. Модель построена для движения на малых скоростях, когда амплитуда колебаний троса не достигает больших значений. В этом случае волновыми процессами в тросе можно пренебречь. Принятые ограничения амплитуды колебаний обычно выполняются при выполнении заключительной фазы установки панели.

На основе анализа возможных перемещений конструкции крана с закрепленной стеновой панелью построена эквивалентная кинематическая схема. В соответствии с кинематической схемой вектор $\mathbf{x}_{rk,s}$ связан с обобщенными координатами крана уравнением:

$$\mathbf{x}_c^{(k)} = T_c(\mathbf{q}_c) \cdot \mathbf{dx}_c^{(k)}, \quad (7)$$

где $T_c(\mathbf{q}_c)$ – матрица перехода из абсолютной системы координат в систему координат панели; \mathbf{q}_c – обобщенные координаты крана; $\mathbf{dx}_c^{(k)}$ – смещение места прикрепления k -й присоски, измеренное в системе координат панели.

Учет упругих сил в степенях подвижности удобно выполнить путем введения упругих дополнительных элементов (пружин), жесткость которых выбирается эквивалентной жесткости упругого тела в направлении движения степени подвижности. Учитывая, что постоянная времени приводов степеней подвижности крана на порядок меньше периода колебания звеньев, а приводы не имеют статической ошибки, то движущая сила крана равна сумме упругих и диссипативных сил, возникающих из-за рассогласования текущего и устойчивого значений обобщенных координат:

$$M_{ci} = (q_i^0 - q_i) \cdot \alpha_i + (\dot{q}_i^0 - \dot{q}_i) \cdot \beta_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (8)$$

где q_i^0, \dot{q}_i^0 – недеформированное положение и скорость i -й обобщенной координаты; α_i, β_i – коэффициент жесткости и диссипации фиктивно введенной пружины, совпадающей по направлению с i -й обобщенной координатой.

При этом недеформированное состояние управляемых координат определяется углом и скоростью вращения выходного вала редуктора двигателя, а устойчивое положение дополнительных степеней подвижности, имитирующих упругие связи, принимается равным нулю.

В процессе монтажа на кран может оказывать значительное влияние ветровая нагрузка, поэтому введем в уравнение (6) слагаемое, учитывающее это влияние. Сосредоточенную силу, эквивалентную ветровой нагрузке, действующей на i -ое звено, запишем в виде:

$$\mathbf{F}_w^{(i)} = (\mathcal{G}_x^{(i)}(\mathbf{q})P_x \quad \mathcal{G}_y^{(i)}(\mathbf{q})P_y \quad \mathcal{G}_z^{(i)}(\mathbf{q})P_z)^T, \quad i = \overline{1, n}, \quad (9)$$

где $\mathcal{G}_x^{(i)}(\mathbf{q}), \mathcal{G}_y^{(i)}(\mathbf{q}), \mathcal{G}_z^{(i)}(\mathbf{q})$ – функции удельной ветровой нагрузки k -го звена в направлении осей базовой системы координат; P_x, P_y, P_z – распределение ветрового потока по осям абсолютной системы координат. Полученную силу переведем из Декартовых координат в обобщенные:

$$\mathbf{M}_w^{(i)} = J_i^T(\mathbf{q}, \mathbf{r}_w^{(i)}(\mathbf{q})) \cdot \mathbf{F}_w^{(i)}, \quad (10)$$

$\mathbf{r}_w^{(i)}(\mathbf{q})$ – вектор (3x1) смещения точки приложения сосредоточенной силы $\mathbf{F}_w^{(i)}$.

На основании уравнений (5-8) построена функциональная схема модели крана, представленная на рисунке 5.

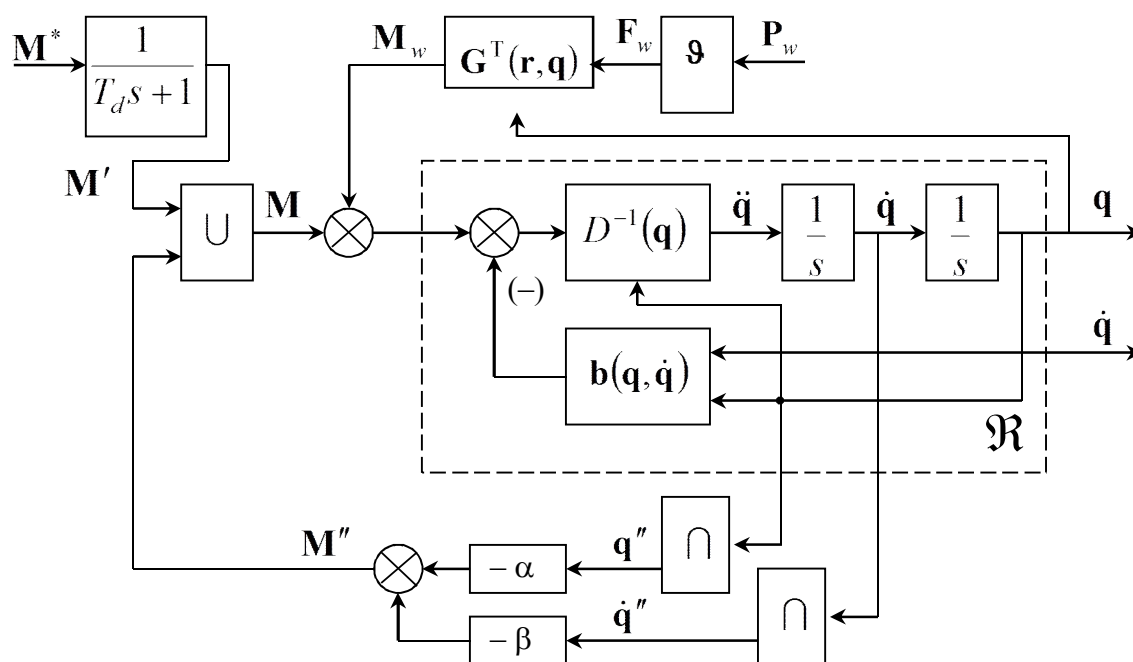


Рисунок 5 – Функциональная схема модели крана

Математическое описание манипуляторов робота выполнено на основе преобразования (1). Вектор $\mathbf{x}_r^{(k)}$ связан с обобщенными координатами манипулятора уравнением:

$$\mathbf{x}_r^{(k)} = T_r(\mathbf{q}_r) \cdot d\mathbf{x}_r^{(k)}, \quad (11)$$

где $T_r(\mathbf{q})$ – матрица перехода из абсолютной системы координат в систему координат схвата; \mathbf{q}_r – обобщенные координаты манипулятора; $d\mathbf{x}_r^{(k)}$ – смещение k -й присоски в системе координат схвата.

Динамика каждого манипулятора описана на основе уравнений Лагранжа-Эйлера:

$$\mathbf{M}_r = D_r(\mathbf{q}_r) \cdot \ddot{\mathbf{q}}_r + \mathbf{h}_r(\mathbf{q}_r, \dot{\mathbf{q}}_r) + \mathbf{c}_r(\mathbf{q}_r) + \sum_{k=1}^l \mathbf{M}_b^{(k)}, \quad (12)$$

где \mathbf{M}_r – вектор ($n \times 1$) обобщенных сил, создаваемых силовыми приводами в сочленениях манипулятора; $D_r(\mathbf{q}_r)$ – симметричная матрица динамики размерностью $n \times n$; $\mathbf{h}_r(\mathbf{q}_r, \dot{\mathbf{q}}_r)$ – вектор ($n \times 1$) кориолисовых и центробежных сил; $\mathbf{c}_r(\mathbf{q}_r)$ – вектор ($n \times 1$) гравитационных сил; $\mathbf{M}_b^{(k)}$ – вектор ($n \times 1$) внешних сил; n – число обобщенных координат.

Вектор $\mathbf{M}_b^{(k)}$ обусловлен влиянием сил связей \mathbf{N}_k и связан с ними соотношением:

$$\mathbf{M}_b^{(k)} = J_n^T(\mathbf{q}, d\mathbf{x}_s) \cdot \mathbf{N}_k, \quad (13)$$

$$(J_m(\mathbf{q}, d\mathbf{x}))_{j,i} = (U_{i,m}(\mathbf{q}) \cdot d\mathbf{x})_j, \quad j = \overline{1,3}, \quad i = \overline{1,m},$$

где $U_{i,m}(\mathbf{q})$ – частная производная от матрицы перехода из базовой системы координат в систему координат m по i -й обобщенной координате.

На основании уравнений (11-13) построим структурную схему модели монтажного комплекса, представленную на рисунке 6.

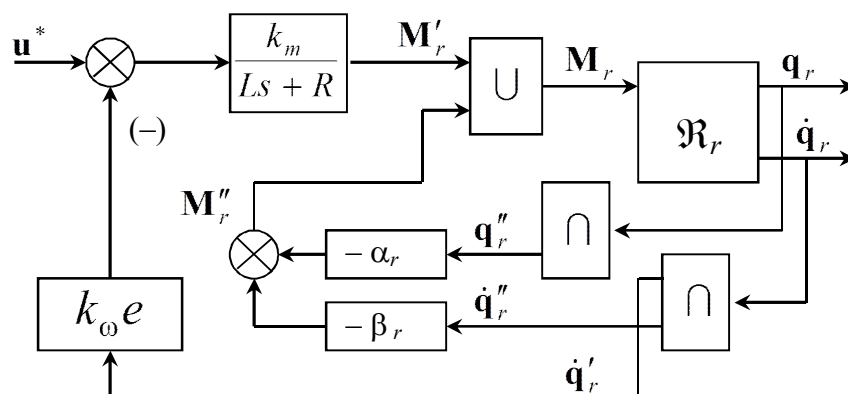


Рисунок – 6 Функциональная схема модели руки робота

5. Управление монтажным комплексом

Рассмотрим варианты получения траектории движения манипулятора строительного робота, так как более сложные задачи управления могут быть сведены к ее решению. Суть предлагаемого метода планирования движений манипуляторами заключается в том, что на первом уровне интерполяции определяется функция $S_j(t)$, описывающая временной закон изменения пути, а на втором – производится аппроксимация обобщенных координат сплайнами третьего порядка как функции текущего перемещения. Исходя из полученного на втором уровне интерполяции закона движения, производится оптимизация параметров первого уровня построения сплайнов по времени, с учетом наложенных ограничений на обобщенные силы. С целью облегчения этого этапа от аппроксимирующих функций потребуем отсутствия биений. Тогда, учитывая, что усилия в приводах строительных роботов несущественно зависят от скорости, то ограничения управляющих усилий можно свести к ограничению ускорений в опорных точках.

Рассмотрим математическое описание предлагаемого метода планирования. Во избежание изменений ускорения между опорными точками, зависимость скорости от пройденного пути на j -м интервале пути $V_j(s)$ зададим линейной функцией:

$$V_j(s) = V_{\max} \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{S_j} s + p_{j-1} \right), \quad s = (0, \bar{S}_j), \quad j = \overline{1, m}, \quad (14)$$

где V_{\max} – максимальная скорость движения, определенная для движущегося объекта с учетом технологических особенностей; $p_j = V_j / V_{\max}$ – относительная скорость в j -й опорной точке; \bar{S}_j – величина пути между опорными точками на j -м интервале; m – количество интервалов аппроксимации.

Проинтегрировав уравнение (12), определим среднюю скорость перемещения рабочего органа манипулятора в Декартовых координатах:

$$\bar{V}_j(s) = \frac{1}{s} \int_0^s V_j(\sigma) d\sigma = V_{\max} \left(\frac{p_j - p_{j-1}}{2 \cdot \bar{S}_j} s + p_{j-1} \right). \quad (15)$$

Тогда время, необходимое для перемещения рабочего органа на j -ом интервале пути с учетом (13), составит:

$$T_j = \frac{\bar{S}_j}{\bar{V}_j(\bar{S}_j)} = \frac{2\bar{S}_j}{V_{\max}(p_j + p_{j-1})}. \quad (16)$$

Зависимость пути от времени $S_j(t)$ определим, проинтегрировав уравнение (12). Для перехода к временной зависимости скорости, примем допущение, что средняя скорость на интервале остается постоянной во всех точках и равна средней скорости в конце интервала $\bar{V}_j(\bar{S}_j)$. Тогда аргумент подынтегральной функции $\bar{V}_j(s)$ представим в виде $s = \tau \cdot \bar{V}_j(\bar{S}_j)$, где

τ – переменная интегрирования. В этом случае, изменение пути во времени описывает уравнением вида:

$$S_j(t) = \int_0^t V(\tau \cdot \bar{V}_j(\bar{S}_j)) \cdot d\tau = \frac{(p_j^2 - p_{j-1}^2) \cdot V_{\max}^2 t^2}{4\bar{S}_j} + p_{j-1} V_{\max} t. \quad (17)$$

Продифференцировав (15), получим закон изменения скорости во времени:

$$V_j^*(t) = \frac{(p_j^2 - p_{j-1}^2) \cdot V_{\max}^2 t}{2 \cdot \bar{S}_j} + p_{j-1} V_{\max}. \quad (18)$$

Для проверки правильности сделанных допущений подставим в уравнения (15) и (16) значение T_j , определяемое уравнением (14) и убедимся, что $S_j(0) = 0$, $S_j(T_j) = \bar{S}_j$, $V_j^*(0) = p_{j-1} V_{\max}$, $V_j^*(S_j) = p_j V_{\max}$, а, следовательно, принятое допущение не нарушает граничных условий по скорости и положению. Полученный закон изменения пути удовлетворяет требованию отсутствия биений, так как ускорение между опорными точками постоянно.

Используя полученные зависимости перемещений $S_j(t)$ и скоростей $V_j^*(t)$ на каждом j -м сплайне, перейдем к рассмотрению 2-го уровня интерполяции. Пусть траектория движения задана набором обобщенных координат в опорных точках $\mathbf{Q}_j = \{\mathbf{Q}_j^{(i)}\}_i$, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{0, m}$, где n – количество обобщенных координат. Получим закон изменения обобщенных координат панели, как функцию пройденного пути $\mathbf{q}^{(j)}(s)$, $s = S_j(t)$. Для обеспечения непрерывности положения и скорости манипулятора, в опорных точках в качестве аппроксимирующей функции выберем кубический полином:

$$\mathbf{q}^{(j)}(s) = \mathbf{a}_3^{(j)} s^3 + \mathbf{a}_2^{(j)} s^2 + \mathbf{a}_1^{(j)} s + \mathbf{a}_0^{(j)}, \quad j = \overline{1, m}, \quad (19)$$

где $\mathbf{a}_k^{(j)}$, $k = \overline{0, 3}$ – вектора размерности $1 \times n$ коэффициентов полинома, определяющиеся на основе граничных условий.

Выражения для положений в опорных точках на j -ом участке аппроксимации будут иметь вид:

$$\mathbf{q}^{(j)}(0) = \mathbf{a}_0^{(j)} = \mathbf{Q}_{j-1}, \quad \mathbf{q}^{(j)}(\bar{S}_j) = \mathbf{a}_3^{(j)} \bar{S}_j^3 + \mathbf{a}_2^{(j)} \bar{S}_j^2 + \mathbf{a}_1^{(j)} \bar{S}_j + \mathbf{a}_0^{(j)} = \mathbf{Q}_j.$$

Для граничных условий по производным используем усредненную оценку скорости изменения обобщенных координат от пройденного пути на текущем и соседнем интервале:

$$d\mathbf{q}^{(j)} / ds \Big|_{s=0} = \mathbf{a}_k^{(j)} = 0,5(\bar{\mathbf{Q}}_j - \bar{\mathbf{Q}}_{j-1}), \quad j = \overline{2, m},$$

$$d\mathbf{q}^{(j)} / ds \Big|_{s=\bar{S}_j} = 3\mathbf{a}_3^{(j)} \bar{S}_j^2 + 2\mathbf{a}_2^{(j)} \bar{S}_j + \mathbf{a}_1^{(j)} = 0,5(\bar{\mathbf{Q}}_{j+1} - \bar{\mathbf{Q}}_j), \quad j = \overline{1, m-1},$$

$$\bar{\mathbf{Q}}_j = 0,5(\mathbf{Q}_j - \mathbf{Q}_{j-1}) / \bar{S}_j.$$

Для граничных условий по производным используем усредненную оценку скорости изменения обобщенных координат от пройденного пути на текущем и соседнем интервале. Такие граничные условия способствуют более гладкому виду сплайна. В результате получаем систему уравнений, которая позволяет найти коэффициенты интерполяции:

$$\mathbf{a}_3^{(j)} = (y \cdot \bar{S}_j - 2(\mathbf{Q}_j - \mathbf{Q}_{j-1} - \mathbf{a}_1^{(j)} s)) / \bar{S}_j^2, \quad \mathbf{a}_2^{(j)} = (y - 3\mathbf{a}_3^{(j)} \bar{S}_j^2) / \bar{S}_j,$$

где $y = (\mathbf{Q}_{j+1} - \mathbf{Q}_j) / \bar{S}_{j+1} - \mathbf{a}_1^{(j)}$.

Расчет сплайнов на первом и последнем участках интерполяции, если значения векторов скоростей в начальной и конечной точках траектории не заданы, в качестве усредненной оценки производной по перемещению используем значение этого параметра на другом краю того же сплайна:

$$\frac{d\mathbf{q}^{(1)}(s)}{ds} \Big|_{s=0} = \frac{\mathbf{Q}_1 - \mathbf{Q}_0}{\bar{S}_1}, \quad \frac{d\mathbf{q}^{(m)}(s)}{ds} \Big|_{s=\bar{S}_j} = \frac{\mathbf{Q}_m - \mathbf{Q}_{m-1}}{\bar{S}_m}.$$

Полученный закон интерполяции (17,19) позволяет свести задачу оптимизации к расчету относительных скоростей p_j в промежуточных опорных точках $j = \overline{1, m-1}$ с учетом наложенных ограничений на обобщенные силы:

$$\mathbf{M}_{\text{lim}}^{(1)} \leq \mathbf{M}^{(j)}(t) \leq \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(2)}, \quad j = \overline{1, m}, \quad t \in [0, T_j], \quad (20)$$

где $\mathbf{M}^{(j)}$ – вектор размерности $1 \times n_{\text{lim}}$, обобщенных сил, которые требуется развить в процессе реализации j -го сплайна по ограниченным координатам; n_{lim} – количество координат, имеющих ограничения $n_{\text{lim}} \leq n$; n – общее количество степеней подвижности манипулятора.

При оптимизации траекторий в уравнении динамики манипулятора гравитационные силы могут быть опущены. Их значения будут использованы при формировании ограничений в каждой из опорных точек. Как правило, скорости движения строительных роботов невелики, вследствие чего центробежными и Кориолисовыми силами можно пренебречь [5]. В результате уравнение динамики манипулятора запишем в виде:

$$\mathbf{M}^{(j)}(t) = D(\mathbf{q}^{(j)}(t)) \cdot \ddot{\mathbf{q}}^{(j)}(t), \quad (21)$$

где $D(\cdot)$ – матрица размерности $n_{\text{lim}} \times n$, являющаяся подматрицей матрицы динамики панели.

Решим задачу оптимизации траектории относительно скоростей p_j , с учетом наложенных ограничений (20), пространственной формы траектории (19) и вида уравнения (17). В качестве функционала оптимизации временного закона перемещения панели используем общее время прохождения траектории. Отбросив значение $V_{\text{max}} \neq 0$, запишем функционал в следующем виде:

$$\sum_{j=1}^m \frac{\bar{S}_j}{(p_j + p_{j-1})} \rightarrow \min. \quad (22)$$

Полученный функционал не содержит экстремумов для всех $p_j \in (0, \infty)$, $j = \overline{1, m-1}$. Следовательно, предельные значения функционала лежат на поверхности, определяемой неравенствами (20). С целью упрощения процесса оптимизации положим, что предельные значения усилий на каждом из сплайнов возникают на его границах в опорных точках траектории:

$$t_{\text{max}} = 0, t_{\text{max}} = T_j \quad \text{или} \quad t_{\text{max}} = T_j, t_{\text{max}} = 0, \\ \mathbf{M}^{(j)}(t_{\text{max}}) = \max_{t \in [0, T_j]} (\mathbf{M}^{(j)}(t)), \quad \mathbf{M}^{(j)}(t_{\text{min}}) = \min_{t \in [0, T_j]} (\mathbf{M}^{(j)}(t)).$$

Это допущение справедливо, так как уравнение (17) имеет постоянную вторую производную, а расчет сплайнов (19) проводился с учетом их сглаживания. В этом случае зона поиска экстремума сужается до вершин ограничивающей поверхности, каждая из которых характеризуется $m-1$ уравнениями вида:

$$\sum_{k=1}^{n_r} D^{(i,k)}(\mathbf{q}^{(j)}(\tau)) \cdot \ddot{q}^{(k,j)}(\tau) = M_{\text{lim}}^{(i,v)}. \quad (23)$$

Перебор всех точек ограничивающей поверхности осуществляется вариацией параметров, характеризующих места выхода обобщенных координат на предельные значения вдоль траектории:

$$i = \overline{1, n_{\text{lim}}}, \quad j = \overline{1, m-1}, \quad \tau = 0, T_j, \quad v = 1, 2,$$

где i, j – номер обобщенной координаты и сплайна; v – индекс верхнего и нижнего предела.

Решение системы уравнений (23) должно удовлетворять ограничениям в опорных точках справа и слева на границах сплайна:

$$\mathbf{M}_{\text{lim}}^{(1)} \leq \mathbf{M}^{(j)}(0) \leq \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(2)}, \quad \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(1)} \leq \mathbf{M}^{(j)}(T_j) \leq \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(2)}, \quad j = \overline{1, m}.$$

Если в процессе оптимизации будет найдено несколько решений, то выбирается решение, обеспечивающее минимум функционала (22).

Для выполнения поставленной задачи поиска точек пересечения ограничивающих поверхностей, преобразуем уравнение (21) к виду:

$$\begin{aligned} \tau = 0, \quad \eta_{1,1}^{(j)} p_j^2 + \eta_{1,2}^{(j)} p_{j+1}^2 &= \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(v)}, \quad \tau = T_j, \quad \eta_{2,1}^{(j)} p_j^2 + \eta_{2,2}^{(j)} p_{j+1}^2 = \mathbf{M}_{\text{lim}}^{(v)}, \\ \eta_{1,1}^{(j)} &= D_{tr}(\mathbf{q}_{tr}^{(j)}(0))(\mathbf{u}_1^{(j)} - \mathbf{u}_2^{(j)}) \cdot V_{\text{max}}^2, \quad \eta_{1,2}^{(j)} = D_{tr}(\mathbf{q}_{tr}^{(j)}(0)) \cdot \mathbf{u}_2^{(j)} \cdot V_{\text{max}}^2, \\ \eta_{2,1}^{(j)} &= D_{tr}(\mathbf{q}_{tr}^{(j)}(T_j)) \cdot \mathbf{u}_3^{(j)} \cdot V_{\text{max}}^2, \quad \eta_{2,2}^{(j)} = D_{tr}(\mathbf{q}_{tr}^{(j)}(T_j))(\mathbf{u}_4^{(j)} - \mathbf{u}_3^{(j)}) \cdot V_{\text{max}}^2, \\ \mathbf{u}_1^{(j)} &= 2 \cdot \mathbf{a}_2^{(j)}, \quad \mathbf{u}_2^{(j)} = 0,5 \cdot \mathbf{a}_1^{(j)} / \bar{S}_j, \\ \mathbf{u}_3^{(j)} &= -1,5 \cdot \mathbf{a}_3^{(j)} \cdot \bar{S}_j - \mathbf{a}_2^{(j)} - \mathbf{u}_2^{(j)}, \quad \mathbf{u}_4^{(j)} = 6 \cdot \mathbf{a}_3^{(j)} \cdot \bar{S}_j + \mathbf{u}_1^{(j)}. \end{aligned} \quad (24)$$

Форма уравнений (24) позволяет свести задачу к решению системы линейных уравнений относительно квадратов скоростей $\mathbf{p}_{sq} = \{p_j^2\}_j$: $\mathbf{H} \cdot \mathbf{p}_{sq} = \boldsymbol{\gamma}$, где \mathbf{H} – матрица, размерности $[(m-1) \times (m-1)]$, элементами которой являются коэффициенты $\eta_{r,k}^{(i,j)}$, $r = 1,2$, $k = 1,2$; r – индекс края сплайна; $\boldsymbol{\gamma}$ – вектор, размерности $(m-1) \times 1$, элементами которого являются предельные значения усилий $M_{\text{lim}}^{(i,v)}$.

С целью обеспечения неравенства нулю определителя $|\mathbf{H}|$, необходимо чтобы в главной диагонали матрицы не было нулей. Для этого за каждой строкой матрицы закрепим соответствующую ее индексу j -ю опорную точку, а вместо вариации номера сплайна $j = \overline{1, m-1}$ будем осуществлять перебор левого и правого сплайна. В результате, выражение для ненулевых элементов j -й строки матрицы \mathbf{H} и вектора $\boldsymbol{\gamma}$ будут иметь вид:

$$\mathbf{H}^{(j, j-3+k+v)} = \eta_{r,k}^{(i,j)}, \quad k = 1,2, \quad \boldsymbol{\gamma}^{(i,v)} = M_{\text{spl lim}}^{(i,v)},$$

где $v = 1,2$ – варьируемый параметр, указывающий на левый или правый сплайн от j -ой опорной точки.

Полный перебор возможных сочетаний ограничивающих поверхностей по строкам матрицы \mathbf{H} достигается варьированием параметров i_j, v_j, r_j, v_j для всех $j = \overline{1, m-1}$. В результате перебора определяются относительные скорости, обеспечивающие минимум времени с учетом выбранного способа планирования траектории [6].

Правильность сделанных допущений об отсутствии биений сплайна можно обосновать, вычислив корни уравнения $\ddot{q}_{\text{spl}}^{(i,j)}(t) = 0$ и проверив их отсутствие на интервале $(0, T_j)$. Если хотя бы один корень лежит в диапазоне $t_p \in (0, T_j)$, то далее необходимо проверить значение обобщенной силы $M_{\text{spl}}^{(i)}(t_p)$. Если она не удовлетворяет условию (20), то формируется еще одна опорная точка, которая включается в перебор при последующей оптимизации скоростей.

6. Выводы

Материал статьи подготовлен на основе исследований авторов, выполняемых в области роботизации монтажных работ. Представленные принципы построения роботизированного монтажного комплекса предполагается применять при разработке проектов роботизации монтажных работ в крупнопанельном домостроении. Исследования показали, что введение позиционирующего робота в монтажный комплекс позволяет существенно повысить скорость и надежность монтажа.

Описанные методы построения математических моделей для создания роботов позволяют устранить трудности, связанные с упругими деформациями в механической системе, а также с доступными ветвлениями и закрытыми структурами. Применение фиктивных степеней свободы для имитации упругих деформаций позволяет в значительной степени упростить математические модели роботов. Предложенные методы построения уравнений математических моделей могут быть использованы для разработки алгоритмов управления строительных роботов. Допустимость принятых в ходе построения математических моделей допущений была подтверждена физическими экспериментами и компьютерным моделированием.

Изложенный метод планирования движения строительных роботов позволяет формировать управляющие воздействия для приводов манипулятора в реальном времени с учетом

ограничений усилий. Это позволяет производить перепланирование траектории с учетом внешних нагрузок и накапливающейся ошибки позиционирования. Количество опорных точек планируемой траектории выбирается в зависимости от длины и формы траектории и индивидуальной стратегии управления для разных технологических операций. Исследования показали, что выдвинутое предположение об отсутствии биений усилий оправданы в случае, когда траектория движения не имеет резких пространственных искривлений, а увеличение опорных точек уменьшает гладкость функции обобщенных усилий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. T. Furukawa and S. Kikukawa. «Introduction of Robots to the Construction Work Site». Robot, №38 (1983).
2. Загороднюк, В.Т. Строительная робототехника [Текст] / В.Т. Загороднюк, Д.Я. Паршин. – М.: Стройиздат, 1990.
3. Fu K. S., Gonzalez R. C., Lee C. S. G. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence. – McGraw – Hill Company, New York, 1987.
4. T. Bock, A. Bulgakov. Automation and robotization of mounting operations in building. Proceedings of the 18th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2001 (10-12 Sept. 2001, Krakow, Poland). – Krakow, 2001.
5. T. Bock, A. Bulgakov. Motion Planning of Construction Robots by Optimizing Ist Speed. Proceedings of the 22-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2005, Sept. Italy. – Ferrara, 2005.
6. A. Bulgakov, T. Bock, D. Parchin. Motion planning of mounting robots with intelligent control. Proceedings of the 20-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2003 (21-25 Sept. 2003, Netherlands). – Eindhoven, 2003.

Булгаков А.Г.

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Доктор технических наук, профессор, проректор
Тел.: +7 (4712) 50-48-18
E-mail: a.bulgakov@gmx.de

Емельянов С.Г.

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
Доктор технических наук, профессор, ректор
Тел.: +7 (4712) 50-48-18
E-mail: esg@mail.ru

Паршин Д.Я.

Донской государственный технический университет, г. Ростов-на-Дону
Доктор технических наук, профессор
Тел.: +7 863 222 35 75
E-mail: d.parshin@mail.ru

A. BULGAKOV, S. EMELIANOV, D. PARSHIN

CONSTRUCTION AND ERECTION ROBOTIC COMPLEX FOR THE LARGE PANEL HOUSE-BUILDING

The paper presents the principles of construction and structural organization of the robotic mounting system. The paper presents the formulation of general approach to construction of structural models for elastic manipulators, which can be presented in the form of collection of connected in series bodies experiencing elastic deformation, and suggests the methods of changing over to such structure. The paper describes in detail the method of constructing mathematical models for manipulators with elastic connection, which is based on the principle of finite partitions and differs by introducing fictitious degrees of freedom in the points critical to deformations. The problems of constructing mathematical models of the system manipulators interaction have been considered and the technique for calculating moments to control the mounting system has been suggested. It also considers an example of constructing model for a building-mounting robot on the basis of the suggested method. The paper presents the method of planning trajectories for building robots' motions according to the given points of sup-

port on the basis of the two-level interpolation. This method features is the calculation of speeds in the intermediate points of the trajectory with due account of limitations for controlling moments. The combination of analytical and searching methods of calculation makes it possible to obtain a solution during the interval of control.

Keywords: construction, large-panel building, mounting, building robots, mathematical models, motion control, speed optimization, trajectory planning.

BIBLIOGRAPHY

1. T. Furukawa and S. Kikukawa. «Introduction of Robots to the Construction Work Site». Robot, №38 (1983).
2. Zagorodnjuk, V.T. Stroitel'naja robototekhnika [Tekst] / V.T. Zagorodnjuk, D.Ja. Parshin. – M.: Strojizdat, 1990.
3. Fu K. S., Gonzalez R. C., Lee C. S. G. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence. – McGraw – Hill Company, New York, 1987.
4. T. Bock, A. Bulgakov. Automation and robotization of mounting operations in building. Proceedings of the 18th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2001 (10-12 Sept. 2001, Krakow, Poland). – Krakow, 2001.
5. T. Bock, A. Bulgakov. Motion Planning of Construction Robots by Optimizing Ist Speed. Proceedings of the 22-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2005, Sept. Italy. – Ferrara, 2005.
6. A. Bulgakov, T. Bock, D. Parchin. Motion planning of mounting robots with intelligent control. Proceedings of the 20-th International Symposium on Automation and Robotics in Construction ISARC-2003 (21-25 Sept. 2003, Netherlands). – Eindhoven, 2003.

A. Bulgakov

Southwest state university, Kursk
Doctor of technical sciences, professor, pro-rector
Ph.: +7 (4712) 50-48-18
E-mail: a.bulgakov@gmx.de

S. Emelyanov

Southwest state university, Kursk
Doctor of technical Sciences, professor, rector
Ph.: +7 (4712) 50-48-18
E-mail: esg@mail.ru

D. Parshin

Don state technical university, Rostov-on-don
Doctor of technical sciences, professor
Ph.: +7 863 222 35 75
E-mail: d.parshin@mail.ru

ДЕНИСОВА Т.В.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ НА ПРИЕМНИКАХ КОНЦЕНТРИРУЮЩИХ СИСТЕМ

Рассматривается алгоритм распределения солнечной энергии на поверхности приемника концентрирующей системы. Изложен принцип построения изолиний энергии на плоском приемнике. Предложена модель концентрирующей системы с отражателем в виде поверхности вращения и плоским приемником с одноосевым слежением за Солнцем.

Ключевые слова: концентратор, приемник, изолинии равной концентрации, квазифокальные линии.

После США и Японии РФ – третья страна в мире, где использование солнечной энергии достигло большого прогресса. Первая значительная солнечная установка была построена в 1930-х годах. В США главная область для использования солнечной энергии – обогревание плавательных бассейнов, в Японии – установки для нагревания воды; в РФ, где приблизительно 1 млн. км² – неосвоенные территории, особенно заинтересованы в широком использовании солнечных насосов и опреснительных установок. В РФ много районов, где продолжительность солнечного периода достигает значительной величины (около 3000 ч в год в Средней Азии) и использование различных солнечных установок экономически особенно выгодно (рис. 1).

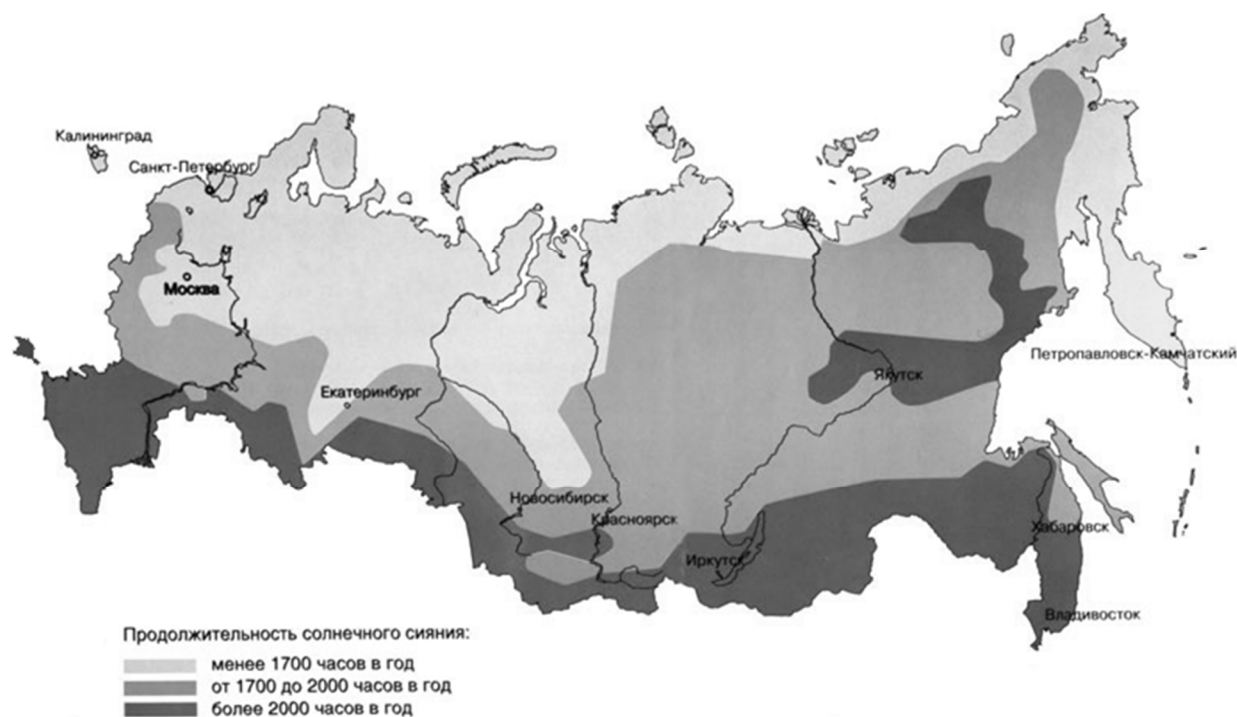


Рисунок 1 – Распределение продолжительности солнечного сияния на территории России

Исследованием оценки распределения энергии на приемнике в солнечных установках с концентраторами (в том числе изучением оптических свойств концентрирующих систем) занимались Eckhard Lüpfer, Nikolaus Benz, W. Reinalter, Robert Pitz-Paal, S. Ulmer.

Широкое практическое применение получили следующие концентрирующие системы: с центральным приемником и полем гелиостатов; параболоцилиндры; параболоиды вращения; солнечные печи. Моделирование распределения энергии на приемнике было получено вслед-

ствии натуральных испытаний с использованием специального оборудования и инфракрасных камер, что приводит к существенным материальным затратам и малой вариативности задачи.

Проектированием и разработкой концентрирующих систем занимались Б.П. Вейнберг, Д. Мак-Вейг, Р.Р. Апариси, Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович, В.А. Майоров. Теория квазифокальных точек и линий, как основа моделирования приемника была рассмотрена А.Т. Дворецким в его многочисленных работах [1, 2].

В статье предложены способы и алгоритмы оценки распределения степени концентрации отраженной энергии на приемнике для идеального отражателя. Исходными данными для расчетов принимается теоретическая поверхность отражателя, заданная уравнением. На плоскости, перпендикулярной потоку прямой солнечной радиации, задается сеть с треугольными ячейками равной площади (рис. 2). Эта сеть проецируется на отражатель падающими лучами и перепроецируется на приемник отраженными лучами. Сравнивая площади треугольных ячеек исходной сети (сети фронта падающих лучей) с площадями соответствующих ячеек сети на приемнике, спроецированных на плоскость, перпендикулярную направлению отраженного потока, определяем изменение локальной степени концентрации на приемнике.

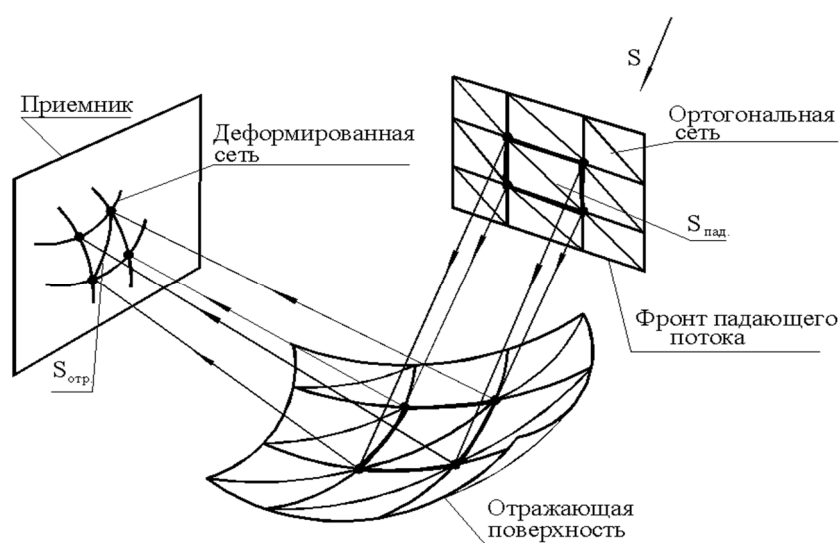


Рисунок 2 – Схема оценки распределения степени концентрации энергии на плоском приемнике

Степень концентрации k отраженных лучей определяется путем сравнения величин площадей $S_{пад}$ треугольников ортогонального сечения падающих лучей и треугольников, получающихся на приемнике при отражении, т.е.

$k = \frac{S_{пад}}{S_{отр}}$. Так как современные технологии

изготовления отражающих покрытий достигают коэффициента отражения 0,95, в формуле подсчета степени концентрации коэффициент отражения не учитывается. Для плоского приемника точечный каркас поверхности распределения степени концентрации строится следующим образом: центрам тяжести треугольников отраженной сетки присваивается значение степени концентрации.

Предложенный алгоритм реализован на компьютере в среде математического пакета Maple. Программа содержит два ключевых цикла. Учитывая то, что решается пространственная задача, в первом цикле задается количество узлов сети падающего фронта по i и по j с шагом разбиения. С учетом шага рассчитывается площадь ячейки сети падающего фронта. В следующем цикле последовательно вычисляются координаты центров тяжести треугольников на приемнике и их площади.

На рисунках 3, а и 3, б как результат работы программы представлен точечный каркас поверхности распределения степени концентрации энергии на плоском приемнике при отражении от сферического концентратора радиуса $R=6$ с центром в начале координат. Уравнение приемника $z=-1$. Солнечные лучи параллельны оптической оси. На рисунках 3, в и 3, г показан точечный каркас поверхности распределения локальной степени концентрации при изменении положения приемника и угла падения лучей.

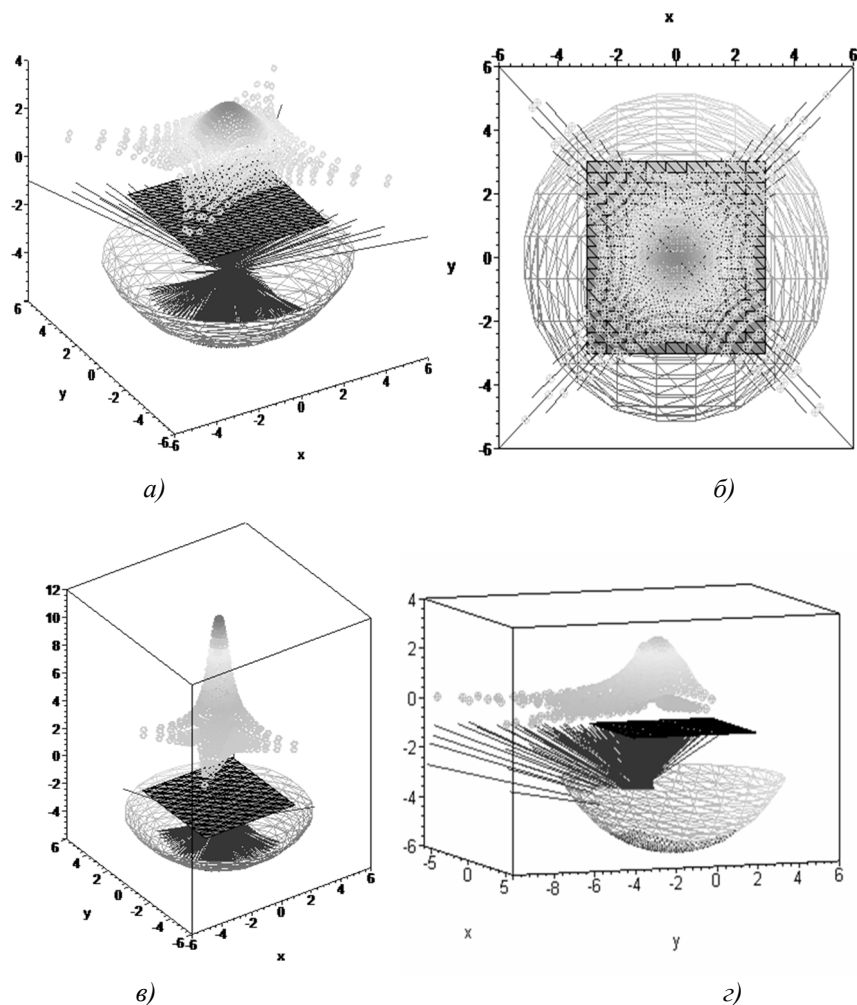


Рисунок 3 – Распределение локальной степени концентрации энергии на приемнике сферического концентратора:
 а – пространственное изображение; б – вид сверху; в – уравнение приемника $z=-2$;
 г – уравнение приемника $z=-2$, угол падения лучей относительно оптической оси равен 20°

Разработана блок-схема программы, в которой реализован данный алгоритм (рис. 4). Программа включает в себя следующие блоки. В первом блоке задаются уравнения отражающей поверхности, уравнение приемника, множество прямых, пересекающих отражатель и образующих только первичные отражения, угол падения солнечных лучей относительно оптической оси отражателя. Во втором блоке определяется множество отраженных лучей, пересекающих приемник. Если отраженные лучи не пересекают поверхность приемника, то меняем параметры формы и положения приемника до тех пор, пока все отраженные лучи не пересекут приемник. В третьем блоке рассчитывается степень концентрации отраженной энергии и строится каркас поверхности распределения локальной степени концентрации на приемнике.

Для получения изолиний энергии аппроксимируем точечный каркас непрерывной поверхностью. Плоские сечения, параллельные плоскости приемника есть изолинии энергии. Изолинии концентрации энергии для плоских приемников позволяют моделировать форму и положение таких приемников.

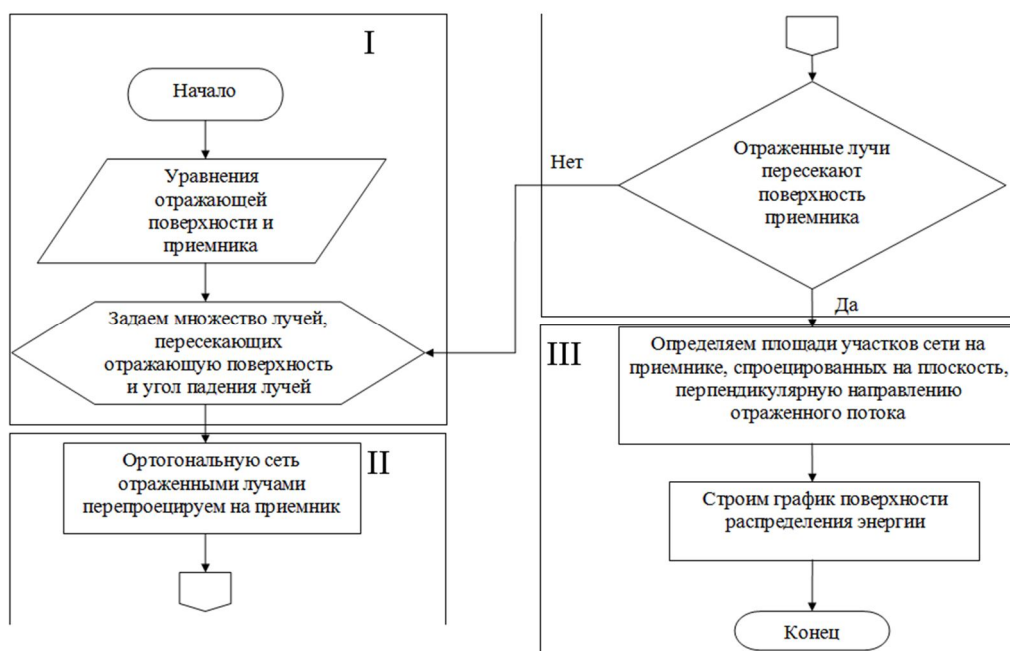


Рисунок 4 – Блок-схема программы

На рисунке 5 изображены поверхности распределения степени концентрации и изолинии интенсивности энергии на плоском приемнике для отражателя в виде сферы.

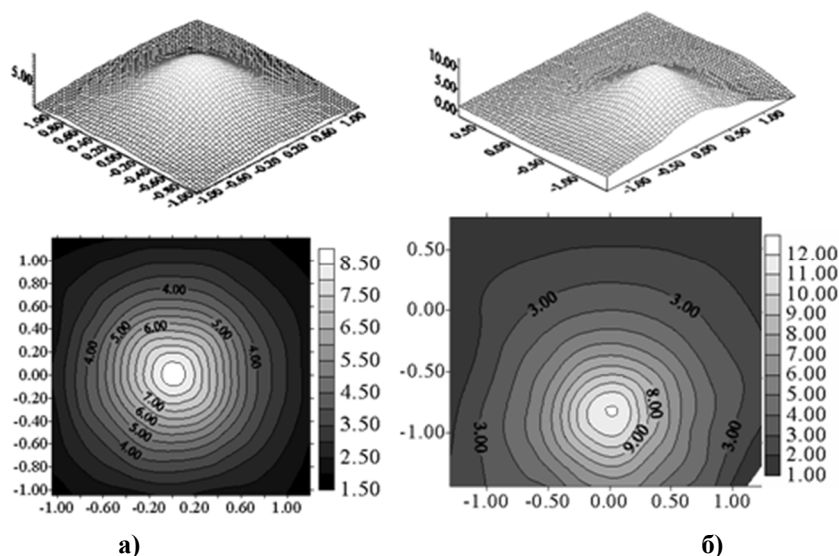


Рисунок 5 – Изолинии концентрации на плоском приемнике сферического отражателя: а – для направления солнечных лучей параллельно оптической оси; б – для угла падения солнечных лучей 20°

Установки в виде поверхностей вращения (параболоидальные, сферические и т.д.) обычно имеют механизм двусевого слежения за Солнцем.

Алгоритм помогает разрабатывать более простые типы установок, в том числе неподвижные солнечные установки с концентратором. Это поможет существенно сократить затраты на изготовлении из-за ненужности сложного поворотного механизма с системой автоматического слежения за Солнцем. Был предложен параболаидальный солнечный концентратор (рис. 6) с одноосевым слежением за Солнцем с плоским приемником. Минимальное значение интенсивности солнечной радиации на приемнике, имеющем значение концентрации на гра-

нице 300 равна $300 \times 70 \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 21000 \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 2,1 \text{ (Вт/см}^2\text{)}$ (декабрь). Максимальное значение интенсивности $300 \times 593 \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 177900 \text{ (Вт/м}^2\text{)} = 17,79 \text{ (Вт/см}^2\text{)}$ (июль).



Рисунок 6 – Установка в виде параболоида вращения (а);
распределение отраженного потока на приемнике (б)

Дальнейшая работа состоит в поиске новых эффективных форм отражателей и приемников на основе предложенной математической модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дворецкий, А.Т. Квазифокальная кривая при отражении от поверхностей вращения и каналовых поверхностей [Текст] / А.Т. Дворецкий // Прикладная геометрия и инженерная графика. – Киев, 1993. – вып. 55.
2. Dvoretzky A. Computer simulation of the flux distribution on receiver surfaces [Электронный ресурс] / A. Dvoretzky, T. Denysova // The 15th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies. Berlin, Germany, 2009.
3. Дворецкий, А.Т. Моделирование интенсивности отраженного потока на приемнике для идеального отражателя [Текст] / А.Т. Дворецкий, Т.В. Денисова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 82. – КНУБА. – Київ, 2009. – С. 10-15.
4. Дворецкий, А.Т. Определение границ приемника в зависимости от требуемой степени концентрации [Текст] / А.Т. Дворецкий, Т.В. Денисова // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – Вип. 84. – КНУБА. – Київ, 2010. – С. 172-176.
5. Вейнберг, В.Б. Зеркала, концентрирующие солнечные лучи [Текст] / В.Б. Вейнберг. – М.: Оборонгиз, 1954. – 56 с. – (Труды Гос. Ордена Ленина оптич. ин-та им. С.И. Вавилова; т. 23; вып. 140).
6. Стребков, Д.С. Концентраторы солнечного излучения [Текст] / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович.

Денисова Татьяна Владимировна

Национальная академия природоохранного и курортного строительства, Симферополь

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: smorodina82@mail.ru

T. DENISOVA

DISTRIBUTION OF SOLAR ENERGY CONCENTRATION IN RECEIVERS OF CONCENTRATING SYSTEMS

An algorithm for the distribution of solar energy on the surface of the receiver of the concentrating system is considered. The principle of energy isolines construction on the flat receiver is proposed. The model of the concentrating system with a reflector in the form of a surface of revolution and flat receiver with single-axis sun tracking is proposed.

Keywords: concentrator, receiver, isolines of equal concentration, quasifocal line.

BIBLIOGRAPHY

1. Dvoreckij, A.T. Kvazifokal'naja krivaja pri otrazhenii ot poverhnostej vrashhenija i kanalovyh poverhnostej [Tekst] / A.T. Dvoreckij // Prikladnaja geometrija i inzhenernaja grafika. – Kiev, 1993. – vyp. 55.
2. Dvoretzky A. Computer simulation of the flux distribution on receiver surfaces [Elektronnij resurs] / A. Dvoretzky, T. Denysova // The 15th International Symposium on Solar Thermal Concentrating Technologies. Berlin, Germany, 2009.
3. Dvoreckij, A.T. Modelirovanie intensivnosti otrazhennogo potoka na priemnike dlja ideal'nogo otrazhatelja [Tekst] / A.T. Dvoreckij, T.V. Denisova // Prikladna geometrija ta inzhenerna grafika. – Vip. 82. – KNUBA. – Kiïv, 2009. – S. 10-15.
4. Dvoreckij, A.T. Opredelenie granic priemnika v zavisimosti ot trebuemoj stepeni koncentracii [Tekst] / A.T. Dvoreckij, T.V. Denisova // Prikladna geometrija ta inzhenerna grafika. – Vip. 84. – KNUBA. – Kiïv, 2010. – S. 172-176.
5. Vejnberg, V.B. Zerkala, koncentrirujushhie solnechnye luchy [Tekst] / V.B. Vejnberg. – M.: Oborongiz, 1954. – 56 s. – (Trudy Gos. Ordena Lenina optich. in-ta im. S.I. Vavilova; t. 23; vyp. 140).
6. Strebkov, D.S. Koncentratory solnechnogo izlucheniya [Tekst] / D.S. Strebkov, Je.V. Tver'janovich.

T. Denisova

National academy of environmental protection and resort development, Simferopol

Assistant of professor

E-mail: smorodina82@mail.ru

ЛУКУТЦОВА Н.П., КАРПИКОВ Е.Г.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ МЕЛКОЗЕРНИСТЫЙ БЕТОН С КОМПЛЕКСНЫМ МИКРОНАПОЛНИТЕЛЕМ

Разработан комплексный микронаполнитель позволяющий получить энергоэффективные изделия из мелкозернистого бетона с прочностью при сжатии до 50 МПа, при изгибе более 5 МПа и морозостойкостью более F100. Стеарат кальция в составе микронаполнителя повышает эффективность сухих порошкообразных композиций за счет стабилизации физико-химических свойств, путем уменьшения адгезии между частицами микронаполнителя, а так же способствует интенсификации помола, экономии электроэнергии и повышению производительности действующего оборудования.

Ключевые слова: энергоэффективность, комплексный микронаполнитель, мелкозернистый бетон, стеарат кальция.

Россия располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов.

Нехватка энергии может стать существенным фактором сдерживания экономического роста страны. По оценке, до 2015 года темпы снижения энергоемкости при отсутствии скоординированной государственной политики по энергоэффективности могут резко замедлиться. Это может привести к еще более динамичному росту спроса на энергоресурсы внутри страны. Запасов нефти и газа в России достаточно, однако увеличение объемов добычи углеводородов и развитие транспортной инфраструктуры требуют значительных инвестиций.

Меры по снижению энергоемкости зачастую оказываются недостаточными для того, чтобы остановить динамичный рост спроса на энергию и мощность. Рост спроса на газ и на электроэнергию оказался выше предусмотренных «Энергетической стратегией России» значений.

При доведении внедрения энергосберегающего и энергоэффективного оборудования до уровня в странах – членах ЕС, энергопотребление снизилось бы до величины 650 млн. т.у.т. Другими словами, около 35% энергии у нас теряется.

Существует два пути решения возникшей проблемы:

- первый – крайне капиталоемкий путь наращивания добычи нефти и газа и строительства новых объектов электрогенерации;
- второй – существенно менее затратный, связанный с обеспечением экономического роста в стране за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов [1].

Основным потребителем энергии в нашей стране является промышленность, большую долю которой составляет строительство и строительное производство. Поэтому в современной отрасли производства строительных материалов необходимо внедрение новых энергосберегающих способов производства и разработка инновационных энергоэффективных материалов нового поколения.

Целью работы является интенсификация помола и стабилизация свойств высокодисперсных материалов с помощью стеарата кальция, а так же получение микронаполнителя на основе кварцевого песка с высокими физико-механическими характеристиками.

Как известно, при измельчении тонкодисперсные частицы налипают на мелющие тела и внутренние поверхности мельниц довольно прочным слоем, а также агрегируют друг с другом с образованием комочков, чешуек и пластинок, что резко ухудшает условия помола, который становится, экономически нецелесообразен, а размалываемый материал теряет свою активность.

Существенную помощь в технологии помола и активации способны оказать интенсификаторы помола, и в первую очередь – гидрофобизирующие добавки, а именно стеарат кальция. Как известно, с увеличением дисперсности возрастает активность, что дает возможность уменьшить удельный расход цемента при изготовлении бетонов заданной прочности. Кроме того, интенсификация помола способствует экономии электроэнергии, а также повышению производительности действующего оборудования. Одновременно снижается износ металла мелющих тел и сокращаются цеховые расходы. В связи с этим использование добавок, интенсифицирующих помол, имеет большое практическое значение.

Многолетними исследованиями установлено, что измельчение продуктов в шаровых мельницах неизбежно сопровождается противоположным по своему характеру процессом агрегирования мелких частиц и образования флоккулов. Чем мельче становится продукт в работающей мельнице, тем больше получается флокул, в результате чего образуются наслоения – подушки из слипшихся частиц на мелющих шарах, а также на стенках мельницы. При этом возникают непроизводительные, холостые удары шаров, что снижает эффективность процесса помола и увеличивает его энергоемкость. Вместе с тем усиливается работа трения, часть механической энергии, затрачиваемой на помол, переходит в тепловую, что вызывает повышение температуры размалываемого материала. В целом производительность мельницы уменьшается.

При помоле компонентов совместно со стеаратом кальция физико-химические свойства поверхности частиц изменяются таким образом, что уменьшается адгезия между отдельными частицами, и гидрофобизированный материал укладывается плотнее, чем обычный, т.е. имеет большую насыпную массу или, иначе говоря, мельница вмещает по массе большее количество продукта. Этот фактор способствует интенсификации помола, т.е. повышению выхода размалываемых компонентов при данном соотношении массы мелющих тел и объема материала в мельнице и не меняющемся расходе электроэнергии. Следовательно, на определенных стадиях процессов диспергирования полезное действие стеарата кальция может сказаться не только в дефлокулирующем действии, но и в увеличении насыпной массы продукта, находящегося в мельнице.

Так же важной задачей, является решение проблемы агрегации высокодисперсных частиц микропорошков, получаемых путем помола. Чем больше удельная поверхность диспергируемых материалов, тем выше вероятность их агрегации. На сегодняшний день предложены две главные гипотезы для объяснения причин агрегирования диспергируемых твердых частиц: 1) контактная электризация, 2) различие в проявлении молекулярных сил на поверхности и в глубине продуктов помола [2].

Явления контактной электризации тонкодисперсных частиц проявляются в процессе образования зарядов размалываемых порошков вследствие разделения двойного электрического слоя при отрыве частиц от заземленной поверхности. Сила адгезии порошков к поверхности может быть приравнена к силе отрыва. Зависит она от большого числа различных факторов и свойств контактирующих тел.

Теория образования статического электричества при контакте, исходя из современных представлений о строении атома, предложена Я.И. Френкелем. Эта теория двойного слоя объясняет электризацию не только разнородных, но и однородных тел. По Френкелю, при тесном соприкосновении поверхностей двух тел (при их трении) на поверхности контакта образуется двойной слой зарядов, величина которых определяется контактной разностью потенциалов между поверхностями. Заряд одного знака возникает при этом на одной поверхности, а противоположного знака – на другой. Если эти поверхности разделить, то двойной слой разрывается, и заряды противоположных знаков остаются на поверхности обоих тел.

Различие в проявлении молекулярных сил на поверхности и в глубине продуктов помола связано с наличием двух соседних фаз, в первой из которых молекулярные взаимодействия сильнее, чем во второй. Тогда в этой фазе важнейшее свойство поверхностного слоя состоит в том, что находящиеся в нем молекулы обладают избыточной энергией (по сравнению с молекулами внутренней части той же фазы).

Для внутренних молекул равнодействующая всех молекулярных взаимодействий равна нулю, а для поверхностных молекул она направлена перпендикулярно поверхности внутрь фазы (рис. 1).

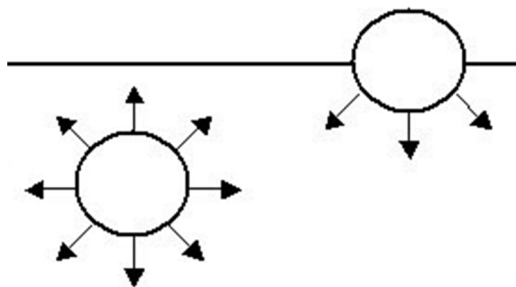


Рисунок 1 – Молекулярные силы на поверхности и в глубине продуктов помола

Следовательно, для выведения молекул из объема на поверхность надо преодолеть эту силу, т.е. совершить работу и сообщить молекулам определенную энергию. Увеличение площади поверхности приводит к увеличению числа поверхностных молекул и поверхностная энергия возрастает.

Таким образом, молекулы, находящиеся в поверхностном слое, являются «особыми» с точки зрения энергетического состояния. Доля «особых» молекул возрастает с уменьшением размера частиц.

Рассмотрим молекулу, расположенную на границе раздела фаз. У такой молекулы насыщены только те связи, которые направлены вглубь ее фазы, остальные связи ненасыщены. Следовательно, такая молекула обладает избыточной потенциальной энергией. Свободная поверхность твердого тела обладает избытком поверхностной энергии.

Как и любая система, дисперсные системы стремятся понизить избыточную энергию. Понизить поверхностную энергию дисперсная система может, уменьшив площадь поверхности раздела. Для этого частицы должны укрупниться. Слияние частиц дисперсной фазы и их укрупнение называется коагуляцией. Таким образом, происходит агрегатирование диспергируемых твердых частиц [3].

Обе гипотезы рекомендуют одинаковый способ нейтрализации проблемы – адсорбция и (или) хемсорбция тонких (мономолекулярных или сходных по толщине) слоев гидрофобизатора на плоскостях диспергируемых частиц, обнажающихся на размалываемых веществах.

Решением проблемы является введение в состав микропорошков стеарата кальция. Механизм действия вводимого стабилизатора заключается в том, что молекулы ПАВ, попадая в микротрещины размалываемого тела при его диспергировании, оказывают расклинивающее действие. Адсорбирующиеся молекулы или ионы проникают из окружающей среды на значительную глубину в деформируемую зону твердого тела по многочисленным микрощелям, появляющимся в процессе деформации. Чем выше напряжения, возникающие в твердом теле при его деформации, тем сильнее будет эффект адсорбционного понижения твердости.

В работах основоположника мировой школы адсорбционного понижения твердости под влиянием ПАВ, академика П.А. Ребиндера и его школы отмечается, что адсорбционные прослойки оказывают активное раздвигающее действие во всех тех наиболее узких участках клиновидных щелей, куда только эти прослойки, мономолекулярных размерностей, могут проникать. После снятия внешних усилий происходит затруднение или, во всяком случае, замедление смывания зародышевых участков микрощелей под влиянием адсорбционных слоев. Усилению эффекта понижения твердости тел способствует наибольшая разность полярностей на поверхности раздела, обусловленная полярным строением молекул ПАВ [2].

Для изучения влияния стеарата кальция на микропорошки, размалывали его совместно с кварцевым песком в шаровой мельнице в течение 60 минут. Полученный микронаполнитель вводили в мелкозернистый бетон (МЗБ) в количестве 5, 10 и 15% от массы заполнителя. Результаты исследований представлены на рисунке 2.

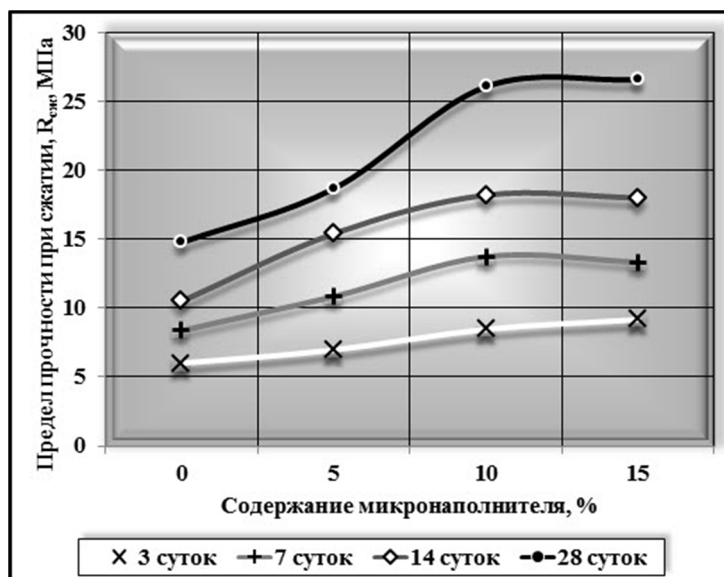


Рисунок 2 – Предел прочности при сжатии мелкозернистого бетона в зависимости от содержания микронаполнителя состава кварцевый песок + стеарат кальция

Установлено, что зависимость прочности мелкозернистого бетона от содержания микронаполнителя носит экстремальный характер. Максимальная прочность наблюдается при его содержании 15% от массы цемента и составляет 26,6 МПа, что в 2,9 раза выше, чем у контрольного образца МЗБ, не содержащего микронаполнителя. Однако, стоит отметить, что через 7 и 14 суток твердения наблюдается падение прочности МЗБ в результате разуплотнения его структуры, поэтому рекомендуемое оптимальное содержание наполнителя – 10% от массы цемента. Предел прочности при сжатии МЗБ с микронаполнителем молотого кварцевого песка повышается на 14, 61, 73 и 76% через 3, 7, 14, 28 суток твердения соответственно, при этом, через 3 суток твердения прочность МЗБ повышается незначительно.

Механизм обеспечения стабильности полученного микронаполнителя заключается в следующем. Стеарат кальция, введенный в состав диспергируемой микропорошка образует «антиадгезивный агент». Термин «антиадгезивный агент», использованный в данном контексте, означает материал, который снижает когезию между частицами. Антиадгезивные агенты включают также антифрикционные агенты или глиданты, которые придают порошкообразной композиции более высокие свойства текучести. Обычно такие агенты способствуют получению фракции более мелких частиц. Типичные антиадгезивные агенты включают аминокислоты, такие как лейцин, фосфолипиды, такие как лецитин или производные жирных кислот, такие как стеарат магния или стеарат кальция.

Антиадгезивный агент снижает когезию между частицами и стабилизирует активированные поверхности микронаполнителя, предотвращая агломерацию тонкоизмельченных частиц. Таким образом, обеспечивается общая стабилизация распределения частиц по размеру для тонкоизмельченных материалов и повышается стабильность конечных сухих порошкообразных смесей с агентом-носителем. Более того, такие свойства повышают стабильность тонкоизмельченного материала.

Совместное измельчение микронаполнителя с антиадгезивным агентом стерата кальция приводит к значительному снижению образования агрегатов / агломератов тонкоизмельченного порошка. Частицы антиадгезивного агента образуют слой на частицах наполнителя, при этом повышается требуемое действие антиадгезивного агента при снижении агломерации частиц, прежде всего во влажной окружающей среде. Таким образом, антиадгезивный агент увеличивает физическую стабильность тонкоизмельченных частиц микронаполнителя. Такая стабильность позволяет исключить или по крайней мере частично преодолеть проблемы при получении пригодной и стабильной фракции тонкоизмельченных частиц. Устранение указанной

проблемы повышает стабильность при обработке диспергируемого материала, повышает стабильность при хранении и сроки хранения разрабатываемых тонкодисперсных наполнителей, а так же повышает эффективность сухих порошкообразных композиций при введении в состав мелкозернистых бетонов за счет стабилизации физико-химических свойств, т.е. распределения частиц микродобавки по размеру [4].

Так же необходимо отметить, что присутствие в составе микронаполнителя стеарата кальция способствует равномерному вовлечению воздуха (в виде высокодисперсной эмульсии), уменьшающего взаимное трение между частицами компонентов бетонной смеси. Этот же воздух, выполняющий функции смазки, оказывает тем самым пластифицирующее действие.

Стеарат кальция существенно не влияет на прочность сцепления бетона с арматурой, но снижает водопотребность цементного теста и несколько удлиняет сроки схватывания. Он резко повышает морозостойкость и водонепроницаемость бетона, уменьшая вместе с тем его усадку, и значительно повышая солестойкость мелкозернистых бетонов [5].

Для устранения отмеченных недостатков, разработан эффективный комплексный микронаполнитель. Для его получения использовался кварцевый песок, молотый в шаровой мельнице совместно с пластификатором С-3 и стабилизатором стеарат кальция, массовая доля которых составляла 1 и 0,5% от массы песка соответственно, а время помола – 60 мин.

Для изучения влияния комплексного микронаполнителя на физико-механические свойства мелкозернистого бетона изготавливали образцы размером 4×4×16 см из цемента М500 Д0 и кварцевом песке с $M_{кр} = 0,9$, которые твердели в нормальных условиях. Результаты исследований приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические свойства МЗБ в зависимости от содержания комплексного микронаполнителя

Содержание, %	Предел прочности при изгибе, $R_{изг}$, МПа		Предел прочности при сжатии, $R_{сж}$, МПа		Плотность образцов, ρ , кг/м ³		Водопоглощение, %
	3 суток	28 суток	3 суток	28 суток	3 суток	28 суток	
0	0,94	3,28	2,72	18,2	2190	2250	5,1
5	4,91	5,77	8,7	43,53	2240	2270	3,2
10	5,46	7,57	10,65	48,94	2280	2280	2,04
15	7,18	8,3	8,94	41,54	2240	2260	1,4

Установлено, что зависимость предела прочности при сжатии от содержания комплексного микронаполнителя в составе МЗБ через 28 суток твердения носит экстремальный характер. Максимальная прочность МЗБ 48,9 МПа достигается при введении наполнителя в количестве 10% от массы песка. Дальнейшее увеличение его содержания в составе МЗБ приводит к разуплотнению структуры и снижению прочности до 41,5 МПа. Аналогичный характер зависимости наблюдается через 3 суток твердения.

Предел прочности при изгибе МЗБ с комплексным микронаполнителем возрастает пропорционально содержанию наполнителя от 3,3 МПа до 8,3 МПа, т.е. в 2,5 раза. Возрастает и плотность мелкозернистого бетона, наибольшее значение которой наблюдается при содержании микронаполнителя в количестве 10%, а водопоглощение мелкозернистого бетона значительно снижается, а при ее содержании 15% уменьшается в 4 раза по сравнению с контрольным составом.

Выявлен характер зависимости показателей физико-технических свойств мелкозернистого бетона от «возраста» и компонентов комплексного микронаполнителя. Доказано, что его введение в возрасте от 1 до 7 суток позволяет ускорить набор прочности бетона, повысить плотность и морозостойкость, а также снизить водопоглощение с 5,1 до 1,4%, т.е. более чем в 3,5 раза [6].

Таким образом, разработан комплексный микронаполнитель, позволяющий получить мелкозернистый бетон с прочностью при сжатии до 50 МПа, при изгибе более 5 МПа и моро-

зостойкостью более F100, что доказывает эффективность его применения в мелкозернистом бетоне при содержании 10% от массы песка.

В ходе работы установлено, что стеарат кальция улучшает стабильность при обработке диспергируемого материала, стабильность при хранении и сроки хранения микронаполнителей, что повышает эффективность сухих порошкообразных композиций при их введении в состав мелкозернистых бетонов за счет стабилизации физико-химических свойств, путем уменьшения адгезии между частицами микронаполнителя.

Исследовано и доказано положительное воздействие стеарата кальция на процессы интенсификации помола, что способствует экономии электроэнергии, а также повышению производительности действующего оборудования. Одновременно снижается износ металла мелющих тел и сокращаются цеховые расходы. В связи с этим использование добавок, интенсифицирующих помол, имеет большое практическое значение для получения современных энергоэффективных материалов нового поколения с высокими физико-механическими характеристиками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергосбережение и энергоэффективность [Электронный ресурс] // Министерство энергетики Российской Федерации. – Режим доступа <http://www.minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost>. – Дата обращения: 22.08.2014.
2. Специальные цементы Ч.4. Интенсификация помола при использовании гидрофобизирующих добавок: [Электронный ресурс] // Завод «Стройбетон». – Режим доступа: <http://www.ibeton.ru/a153.php>. – Дата обращения: 27.10.2013.
3. Савицкая, Т.А. Коллоидная химия [Текст]: опорный конспект лекций для студентов специальности 1-31 05 01 «Химия» / Т.А. Савицкая, Д.А. Котиков. – Мн.: БГУ, 2008. – 120 с.
4. Патент 2453302 Российская Федерация МПК А 61 К 9/00, А 61 К 31/34, А 61 К 9/12, А 61 К 9/14 Композиции для ингаляции, содержащие соли гликопиррония [Текст] / Б. Хэберлин, Ф. Штовассер, В. Вирт, А. Баумбергер, Ш. Абель, З. Кэргер, Т. Кикбуш; заявитель и патентообладатель «Новартис АГ». – №2009102934; заявл. 28.06.2007; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17. – 12с.: ил.
5. Перкинс, Ф. Железобетонные сооружения. Ремонт, гидроизоляция и защита [Текст]: учебник для вузов: пер. с англ. А.В. Швецевой / Ф. Перкинс; под ред. М. Ф. Цитрона. – М.: Стройиздат, 1980. – 256 с.
6. Баженов, Ю.М. Мелкозернистый бетон, модифицированный комплексной микродисперсной добавкой [Текст] / Ю.М. Баженов, Н.П. Лукутцова, Е.Г. Карпиков // Вестник МГСУ. – 2013. – №2. – С. 94-100.

Лукутцова Наталья Петровна

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Производство строительных конструкций»
Тел.: +7 (4832) 74-05-13
E-mail: johnjk@mail.ru

Карпиков Евгений Геннадиевич

Брянская государственная инженерно-технологическая академия, г. Брянск
Аспирант
Тел.: +7 953 282 82 48
E-mail: johnjk@mail.ru

N. LUKUTCOVA, E. KARPIKOV

ENERGY-EFFICIENT FINE-GRAINED CONCRETE WITH COMPLEX MICROFILLER

Developed a comprehensive microfiller allows you to get energy-efficient products from fine-grained concrete with the compressive strength of 50 MPa, flexural strength more than 5 MPa and frost resistance more than F100. Calcium stearate in the composition of microfiller increases the efficiency of the dry powder compositions due to the stabilization of physico-chemical properties, by reducing the adhesion between the part-judgments of microfiller, as well as contributes to the intensification of grinding, conserve energy, and improve the performance of existing equipment.

Keywords: nergy efficiency, integrated microfiller, fine-grained concrete, calcium stearate.

BIBLIOGRAPHY

1. Jenergosberezhenie i jenergojeffektivnost' [Jelektronnyj resurs] // Ministerstvo jenergetiki Rossijskoj Federacii. – Rezhim dostupa <http://www.minenergo.gov.ru/activity/energoeffektivnost>. – Data obrashhenija: 22.08.2014.
2. Special'nye cementy Ch.4. Intensifikacija pomola pri ispol'zovanii gidrofobizirujushhih dobavok: [Jelektronnyj resurs] // Zavod «Strojbeton». – Rezhim dostupa: <http://www.ibeton.ru/a153.php>. – Data obrashhenija: 27.10.2013.
3. Savickaja, T.A. Kolloidnaja himija [Tekst]: opornyj konspekt lekcij dlja studentov special'nosti 1-31 05 01 «Himija» / T.A. Savickaja, D.A. Kotikov. – Mn.: BGU, 2008. – 120 s.
4. Patent 2453302 Rossijskaja Federacija MPK A 61 K 9/00, A 61 K 31/34, A 61 K 9/12, A 61 K 9/14 Kompozicii dlja ingaljacii, sodержashhie soli glikopirronija [Tekst] / B. Hjeberlin, F. Shtovasser, V. Virt, A. Baum-berger, Sh. Abel', Z. Kjerger, T. Kikbush; zajavitel' i patentoobladatel' «Novartis AG». – №2009102934; zajavl. 28.06.2007; opubl. 20.06.2012, Bjul. № 17. – 12s.: il.
5. Perkins, F. Zhelezobetonnye sooruzhenija. Remont, gidroizoljacija i zashhita [Tekst]: uchebnik dlja vuzov: per. s angl. A.V. Shvecovoj / F. Perkins; pod red. M. F. Citrona. – M.: Strojizdat, 1980. – 256 s.
6. Bazhenov, Ju.M. Melkozernistyj beton, modifitsirovannyj kompleksnoj mikrodispersnoj dobavkoj [Tekst] / Ju.M. Bazhenov, N.P. Lukutcova, E.G. Karpikov // Vestnik MGSU. – 2013. – №2. – S. 94-100.

N. Lukutcova

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Doctor of technical sciences, professor, head of department «Production of building structures»
Ph.: +7 (4832) 74-05-13
E-mail: johnjk@mail.ru

E. Karpikov

Bryansk state engineering-technological academy, Bryansk
Post graduate student
Ph.: +7 953 282 82 48
E-mail: johnjk@mail.ru

ПОЛЕЙКО Н.Л., ЛЕОНОВИЧ С.Н.

ОБ ЭФФЕКТИВНОМ ПРИМЕНЕНИИ КРУПНОГО ЗАПОЛНИТЕЛЯ В БЕТОНЕ

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов класса до С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве. Отказ предприятиями-производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически не целесообразным. В результате проведенных сравнительных исследований установлено, что применение гравия в качестве крупного заполнителя в бетонах оправдано в низкомарочных бетонах с прочностью на сжатие до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5-С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.

Ключевые слова: щебень гранитный, щебень из гравия, морозостойкость, бетон, класс бетона, водонепроницаемость.

Ранее действовавшие нормативно-технические документы рекомендовали применять в качестве крупного заполнителя для бетонов классов до С12/15 щебень из гравия и гравий, особенно в жилищном строительстве.

В последние годы в качестве крупного заполнителя для тяжелого бетона используется преимущественно гранитный щебень. Это ведет к не востребуемости более дешевых и доступных гравия и щебня из гравия, к увеличению транспортных расходов и повышению себестоимости продукции.

В ОАО «Нерудпром» производится крупный заполнитель для строительных работ, осуществляется добыча и фракционирование гравия, дробление гравия, фракционирование щебня из гравия. Крупный заполнитель выпускается в виде гравия из смеси фракций 5-20 мм, 20-70 мм, щебень из гравия фракций 5-10 мм и смеси фракций 5-20 мм. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267-93 Щебень и гравий из плотных горных пород для строительных работ. Технические условия (введен 01.07.1995) и СТБ 1544-2005 Бетоны конструкционные тяжелые. Технические условия (введен 01.07.2005). Объем производства гравия составляет 120-130 тыс. м³ в год, щебня из гравия – 110-130 тыс. м³ в год, что является достаточным для восполнения потребностей предприятий строительной отрасли Минского региона.

В связи с вышеизложенным на кафедре «Технология строительного производства» Белорусского национального технического университета проведен комплекс исследований щебня из гравия и гравия карьеров «Крапужино» и «Волма» на предмет экономического применения их в производстве сборного железобетона и монолитном строительстве. Требования к бетонам по их эксплуатационным качествам, области применения, физико-техническим свойствам, условиям долговечности расширяют область экономического использования различных видов заполнителей. Если учесть, что заполнители занимают в бетоне до 80% объема, а стоимость их достигает 50% стоимости бетонных и железобетонных конструкций, то становится понятным, что правильный выбор заполнителей, наиболее рациональное их применение имеют большое влияние на свойства бетонной смеси, бетонных и железобетонных конструкций, технико-экономическую эффективность производства строительных изделий из сборного, монолитного бетона и железобетона в целом.

При проектировании составов бетонной смеси исходят из необходимости получения бетона заданной прочности, консистенции и долговечности при минимальном расходе цемента. Для тяжелых бетонов минимальный расход цемента обеспечивается максимальным насыщением объема бетона заполнителями и минимальной пустотностью смеси заполнителей.

Удельная поверхность гравия, зерна которого имеют округлую, окатанную форму, меньше удельной поверхности щебня с шероховатыми зернами угловатой формы. При одинаковой крупности гравий, поскольку зерна его укладываются более компактно, отличается от щебня несколько меньшей пустотностью. Удобоукладываемость бетонной смеси, при прочих равных условиях, лучше на гравии, чем на щебне. Это позволяет несколько снизить водоцементное отношение при сохранении заданной подвижности. Благодаря этому в бетонах на гравии (с прочностью на сжатие не выше класса С20/25) наблюдается даже экономия цемента (до 15-20%) по сравнению с бетоном на щебеночном заполнителе, в том числе и гранитном щебне [1, 2].

Качество заполнителей для бетона определяется прочностью сцепления цементного камня с поверхностью зерен заполнителей, собственной прочностью заполнителей, формой зерен и чистотой поверхности [3,4]. Установлено, что на конечную прочность бетона помимо качества заполнителей решающее значение оказывает и расход составляющих бетонной смеси, количество крупного заполнителя и соотношение мелкого и крупного заполнителя.

Для определения области применения щебня из гравия и гравия, выпускаемого ОАО «Нерудпром» в качестве крупного заполнителя для производства бетонных и железобетонных сборных и монолитных изделий и конструкций проведены исследования с целью подтверждения возможности и технико-экономической целесообразности получения бетонов с нормируемыми показателями качества. Были испытаны составы бетона с различным содержанием цемента и крупного заполнителя. В качестве крупного заполнителя применялся щебень из гравия ДСЗ «Крапужино» и для сравнения – гранитный щебень РУП «Гранит» фракции 5-20 мм.

Составы бетона, по которым оценивалось рациональное применение заполнителей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Подобранные составы бетона

Номер состава	Расход составляющих на 1 м ³ бетона, кг						Класс бетона
	Цемент	Песок	Вода	Щебень гранитный	Щебень из гравия	гравий	
1	230	870	140	1170	-	-	С12/15
2	230	870	140	-	1170	-	С12/15
3	230	870	140	-	-	1170	С12/15
4	350	750	180	1120	-	-	С20/25
5	350	750	180	-	1120	-	С20/25
6	350	750	180	-	-	1120	С16/20
7	460	710	200	1050	-	-	С25/30
8	460	710	200	-	1050	-	С22/27,5
9	460	710	200	-	-	1050	С20/25
10	350	860	180	1020	-	-	С20/25
11	350	860	180	-	1020	-	С20/25
12	350	860	180	-	-	1020	С18/22,5
13	350	750	180	1120	-	-	С20/25
14	370	740	185	-	1110	-	С20/25
15	395	730	190	-	-	1080	С20/25

Физико-технические характеристики бетона определялись на составах №4-6. Результаты испытаний, приведенные в табл. 2 показывают, что применяемые заполнители удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267-93 и СТБ 1544-2005.

Одной из основных характеристик бетона является его морозостойкость. С этой целью были проведены испытания на морозостойкость бетона, содержащего крупный заполнитель указанных предприятий (составы 1-9, табл. 1).

Подбор состава бетона осуществляли исходя из класса бетона по прочности на сжатие С12/15 (составы 1-3), С20/25 (составы 4-6) и С25/30 (составы 7-9) (подвижность бетонной смеси ОК 1-4 см). Доля песка в смеси заполнителей составляла 40%. В качестве вяжущего применялся цемент М500 до производства ОАО «Красносельскстройматериалы».

Таблица 2 – Физико-технические характеристики бетона

Характеристики качества	Номер состава		
	Состав 4	Состав 5	Состав 6
Плотность бетона, кг/м ³	2448	2403	2387
Водопоглощение, % по массе	4,40	4,45	5,02
Прочность на сжатие, МПа	34,5	32,4	27,8
Прочность на растяжение при изгибе, МПа	4,66	4,48	4,35
Морозостойкость	F150	F100	F100
Водонепроницаемость	W4	W4	W4

Результаты испытаний на морозостойкость и прочность бетона составов 1-9 приведены в табл. 3 и показывают, что прочность бетонных образцов состава 1-3 отличается незначительно и находится в пределах 17,7-18,3 МПа. Это подтверждает, что на низкомарочных бетонах (С10/12,5 – С12/15) прочность крупного заполнителя не оказывает большого влияния на их свойства.

Таблица 3 – Морозостойкость бетона на различных видах крупного заполнителя

Номер состава	Прочность на сжатие, МПа	Марка по морозостойкости
1	18,3	F75
2	18,8	F75
3	17,7	F75
4	34,5	F150
5	32,4	F100
6	27,8	F100
7	44,2	F250
8	37,1	F150
9	33,7	F150

Разрушение бетонных образцов при испытании происходило по зоне контакта: цементный камень – заполнитель. Бетон разрушался от поперечного растяжения.

По результатам испытаний на прочность при сжатии составов 4-6 можно сделать вывод, что в составах, где в качестве крупного заполнителя использовался гранитный щебень и щебень из гравия, класс бетона соответствует классу С20/25. На крупном заполнителе из гравия класс бетона приближается к классу С18/22,5. Отличие в прочности бетонных образцов составов 7-9 значительно. Если прочность бетона состава №7 соответствует классу С25/30-С28/35, то в составах 8 и 9 – С22/27,5 и С20/25. соответственно. Бетон разрушался от сквозных трещин, пронизывающих как цементный камень, так и заполнители.

Морозостойкость бетона составов 1-3 соответствует марке F75. Морозостойкость для состава 4 соответствует марке F150; и для составов 5-6 – F100, что значительно расширяет возможность использования гравия и щебня из гравия для бетонов, где предъявляются требования по морозостойкости от F25 до F100 включительно. Морозостойкость состава 7 (F250) выше морозостойкости составов 8 и 9 на две марки F150 (табл. 3).

Снижение морозостойкости бетона на гравии, в первую очередь, связано с наличием слабых зерен в гравии и окатанной формой зерен гравия, что «облегчает» прохождение воды

сквозь тело бетона в зоне контакта заполнителя и растворной части и в конечном итоге приводит к разрушению бетонных образцов.

Учитывая различную стоимость щебня из гравия и гравия производства ОАО «Негудпром» и гранитного щебня производства РУП «Гранит», использование их в строительстве является экономически целесообразным. Расчет себестоимости бетонной смеси составов 1-15 (табл. 1) проводился исходя из отпускной стоимости «франко-склад» материалов:

- Цемент М500	–	898810 р./т
- Песок высшего класса	–	38017 р./м ³
- Щебень гранитный фр. 5-20 мм	–	170520 р./т
- Щебень из гравия фр. 5-20 мм	-	58488 р./м ³
- Гравий фр. 5-20 мм	-	40942 р./м ³

Цены приведены по состоянию на 1 февраля 2013 г.

Проведя анализ себестоимости различных составов бетонной смеси, можно сделать заключение, что на всех составах бетона (с низким расходом – 230 кг цемента на 1 м³ бетонной смеси и с высоким расходом – в 460 кг цемента на 1 м³ бетонной смеси) на щебне из гравия на 10-18% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. Себестоимость бетонной смеси на гравии на 20-28% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне. При повышении расхода мелкого заполнителя в бетонной смеси уменьшается расход щебня и гравия. Соответственно уменьшается и разница в себестоимости бетонной смеси. И, тем не менее, на щебне из гравия стоимость ниже на 12%, а на гравии – на 32% ниже, чем на гранитном щебне (составы 10-12).

Для достижения одинаковой прочности бетона на различных видах крупного заполнения были запроектированы составы бетонной смеси 13-15 (табл. 1). При этом увеличение расхода цемента составило на щебне из гравия 20 кг/м³, а на гравии – 45 кг/м³ в сравнении с гранитным щебнем. Себестоимость бетонной смеси оказалась ниже на щебне из гравия на 8,7%, а на гравии – на 9,3%. Из этого следует, что для достижения одинаковой проектной прочности бетона за счет увеличения расхода цемента можно получить экономию себестоимости продукции до 10%. Учитывая в расчетах себестоимость бетонной смеси затраты на транспортные расходы, экономические показатели увеличиваются на 5-20% в зависимости от расстояния перевозки.

Отказ предприятиями-производителями строительной индустрии от применения в качестве крупного заполнителя в бетонной смеси щебня из гравия и гравия является неоправданным и экономически не целесообразным.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Щебень из гравия и гравий удовлетворяют требованиям ГОСТ 8267-93 и соответствуют СТБ 1544-2005 для применения его в качестве крупного заполнителя для производства тяжелого бетона.

2. Применение гравия в качестве крупного заполнителя оправдано в низкомарочных бетонах с прочностью на сжатие до класса С12/15, где не предъявляются требования по морозостойкости и водонепроницаемости. Допустимо использование гравия в бетонах классов С18/22,5–С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4.

3. В качестве крупного заполнителя щебень из гравия целесообразно применять в бетонах с прочностью до класса С20/25 с требованиями к бетону марок F100 и W4. допустимо использование в бетонах с прочностью на сжатие до класса С20/25–С22/27,5 с требованиями к бетону F150 и W6.

4. Себестоимость 1 м³ бетонной смеси на щебне из гравия на 10-18%, на гравии – на 20-32% ниже, чем себестоимость бетонной смеси на гранитном щебне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Старчуков, Д.С. Бетоны ускоренного твердения с добавками твердых веществ неорганической природы [Текст] / Д.С. Старчуков // Бетон и железобетон. – 2011. – №14. – С. 22-24.

2. Загер, И.Ю. Сравнительная оценка продуктов дробления горных пород месторождения нерудных строительных материалов Ямало-Ненецкого Автономного округа [Текст] / И.Ю. Загер, А.А. Яшинькина, Л.Н. Андропова // Строительные материалы. – 2011. – №5. – С. 84-86.

3. Добшиц, Л.М. Определение морозостойкости крупного заполнителя для тяжелых бетонов [Текст] / Л.М. Добшиц, И.И. Магомедэминов // Бетон и железобетон. – 2012. – №4. – С. 16-19.

4. Петров, В.П. Пористые заполнители из отходов промышленности [Текст] / В.П. Петров, С.А. Токарева // Строительные материалы. – 2011. – №12. – С. 46-50.

Полейко Н.Л.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
Кандидат технических наук, доцент

Леонович С.Н.

Белорусский национальный технический университет, Минск, Беларусь
Доктор технических наук, профессор

D. POLEJKO, S. LEONOVICH

**THE EFFECTIVE USE OF THE COARSE
AGGREGATE IN CONCRETE**

Previously existing technical standards recommended the use of crushed gravel and gravel as coarse aggregate for concrete of C12/15 classes, especially in the field of housing construction. The refusal of construction industry enterprises to use crushed gravel and gravel as coarse aggregate in the concrete mixture is unjustified and economically unfeasible. The result of comparative studies shows that the use of gravel as coarse aggregate in concrete justified for low strength grade concrete of C12 / 15 classes, for which there are no requirements on frost resistance and water resistance. It is also permissible to use gravel in concrete of C18 / C20-22.5 / 25 classes with the requirements for concrete of F100 u W4 grades.

Keywords: *crushed granite, crushed gravel, frost resistance, concrete, concrete class, water-resistant.*

BIBLIOGRAPHY

1. Starchukov, D.S. Betony uskorenного tverdenija s dobavkami tverdih veshhestv neorganicheskoj prirody [Текст] / D.S. Starchukov // Бетон и железобетон. – 2011. – №14. – С. 22-24.

2. Zager, I.Ju. Sravnitel'naja ocenka produktov droblenija gornyh porod mestorozhdenija nerudnyh stroitel'nyh materialov Jamalo-Neneckogo Avtonomnogo okruga [Текст] / I.Ju. Zager, A.A. Jashin'kina, L.N. Andropova // Stroitel'nye materialy. – 2011. – №5. – С. 84-86.

3. Dobshic, L.M. Opredelenie morozostojkosti krupnogo zapolnitelja dlja tjazhelyh betonov [Текст] / L.M. Dobshic, I.I. Magomedjeminov // Бетон и железобетон. – 2012. – №4. – С. 16-19.

4. Petrov, V.P. Poristye zapolniteli iz othodov promyshlennosti [Текст] / V.P. Petrov, S.A. Tokareva // Stroitel'nye materialy. – 2011. – №12. – С. 46-50.

D. Polejko

Belarusian national technical university, minsk, Belarus
Candidate of technical sciences, associate professor

S. Leonovich

Belarusian national technical University, Minsk, Belarus
Doctor of technical sciences, professor

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ ПРИ ЗАВИСИМОМ ПРИСОЕДИНЕНИИ К ТЕПЛОВЫМ СЕТЯМ

В данной статье рассматривается система управления процессом теплоснабжения при зависимом присоединении к тепловым сетям в нестационарном режиме с позиции ресурсосбережения. Предложена математическая модель и структурная схема системы управления процессом теплоснабжения. Проведен анализ математической модели управления с определением управляющих и управляемых параметров.

Ключевые слова: энергосбережение, управление системой теплоснабжения, структурная схема, ресурсосбережение, температура теплоносителя, теплоснабжение.

Анализ температурных характеристик в тонкостенных трубопроводах системы теплоснабжения, проведенный в [1, 2] (рис. 1), позволил получить математическую модель, характеризующую изменение температуры подающего теплоносителя на оси циркуляционного кольца от времени.

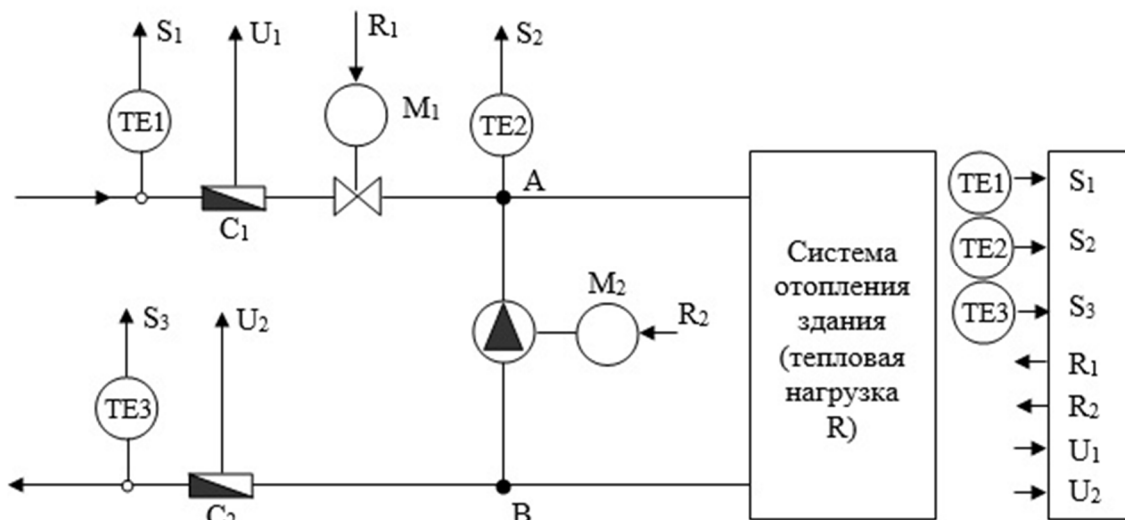


Рисунок 1 – Вариант функционирования зависимой схемы присоединения системы отопления

В [1] было получено дифференциальное уравнение, дающее описание изменению температуры теплоносителя на оси трубопровода отопительного контура в произвольном сечении \bar{x} (начало отсчета совмещено с точкой А, (рис.1)):

$$\frac{dt}{d\tau} = - \frac{k_{mp} \pi d_x l (t - t_k)}{c\rho}, \quad (1)$$

где t, t_k – соответственно температуры теплоносителя (горячая вода) и температура воздуха в отапливаемом помещении (тепловой нагрузке R), $^{\circ}\text{C}$; l – длина главного циркуляционного кольца системы отопления; $d_x = d_2$ – эффективный диаметр трубопровода (у тонкостенных трубопроводов ГОСТ 10704-91 d_2 – внешний диаметр), м; k_{mp} – коэффициент передачи от контура трубопровода к тепловой нагрузке R , $\text{Вт}/(\text{м}^2\text{ }^{\circ}\text{C})$; c и ρ – соответственно теплоемкость и плотность теплоносителя, $\text{Дж}/(\text{кг}^{\circ}\text{C})$ и $\text{кг}/\text{м}^3$; τ – текущее время, с.

Введя подстановку

$$\frac{c\rho}{k_{mp}\pi d_x l} = T, \quad (2)$$

получим,

$$\frac{dt}{d\tau} = -\frac{t-t_k}{T}, \quad (3)$$

где T – постоянная времени системы отопления, с.

Преобразовав (3) получим дифференциальное уравнение, соответствующее инерционному (апериодическому) звену первого порядка:

$$t + T \frac{dt}{d\tau} = kt_k, \quad (4)$$

где $k \approx 1$ – коэффициент передачи.

Передаточная функция $W(P)$ имеет вид:

$$W_1(P) = \frac{k}{1+PT} \approx \frac{1}{1+PT}, \quad (5)$$

где P – параметр.

Учитывая звено чистого запаздывания, получим передаточную функцию чистого запаздывания $W_2(P)$:

$$W_1(P) = e^{-P\tau_s}, \quad (6)$$

где τ_s – время чистого запаздывания, с.

Следовательно, систему управления процессом теплоснабжения можно представить в виде последовательного соединения звена чистого запаздывания с апериодическим звеном первого порядка, что теоретически обосновано в [3]. В этом случае результирующая передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = W_1(P) \cdot W_2(P) = e^{-P\tau_s} \cdot \frac{1}{1+PT}. \quad (7)$$

Решение дифференциального уравнения (4) имеет вид:

$$t = t_k + (\bar{t} - t_k) \cdot e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}}, \quad (8)$$

где τ_0 – начальный момент времени, с.

В [2] было установлено, что температура главного циркуляционного кольца \bar{t} в промежуточном сечении \bar{x} в момент времени τ_0 определяется по формуле:

$$\bar{t} = t(\bar{x}, \tau_0) = c_1 e^{a_1 \bar{x}} + c_2 e^{a_2 \bar{x}} + t_k, \quad (9)$$

где a_1, a_2 – коэффициенты, причем $a_1 \approx -(8.05 \div 19.75) \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-1}$, $a_2 \approx -(4.8 \div 12.2) \cdot 10^{-6} \text{ м}^{-1}$; $e = 2.71828$ – основание натурального логарифма. Коэффициенты c_1 и c_2 определены по формулам:

$$\begin{cases} c_1 = \frac{(t_1 - t_k)e^{a_2 l} - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 l} - e^{a_1 l}} \\ c_2 = \frac{(t_1 - t_k)e^{a_1 l} - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 l} - e^{a_1 l}} \end{cases} \quad (10)$$

где t_1, t_2 соответственно температуры теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах системы отопления, °C.

Определим значение температуры горячей воды t_A на участке смешения в точке А. В этом случае в формуле (9) $\bar{x} = 0$ (начало координат) и выберем в (8) $\tau_0 = \tau_s$ – время запаздывания, получим:

$$\bar{t} = t(0;0) = c_1 + c_2 + t_k. \quad (11)$$

Подставляя (11) в (8) имеем:

$$t_A = t_k + (c_1 - c_2) \cdot e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}}. \quad (12)$$

Учитывая, что $a_1 \approx 0$ и $e^{a_1 l} \approx 1$, выражение (10) получит вид:

$$\begin{cases} c_1 = \frac{(t_1 - t_k)e^{a_2 l} - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 l} - 1} \\ c_2 = \frac{(t_1 - t_k) - (t_2 - t_k)}{e^{a_2 l} - 1} \end{cases}. \quad (13)$$

Подставляя (13) в (12) получим:

$$t_A = t_k + \frac{(t_1 - t_k)(e^{a_2 l} - 1)}{e^{a_2 l} - 1} e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} = t_k + (t_1 - t_k)e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}}. \quad (14)$$

Важно отметить, что переходная функция $h(\tau)$ имеет вид:

$$h(\tau) = k \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} \right) = 1 - e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}}. \quad (15)$$

При $\tau \rightarrow \infty$ значение $h(\tau)$ приближается асимптотически к значению $k = 1$.

При $t_k = t_{кн} - \text{const}$ температурные кривые t_k и t представлены на (рис. 2, а, б) соответственно.

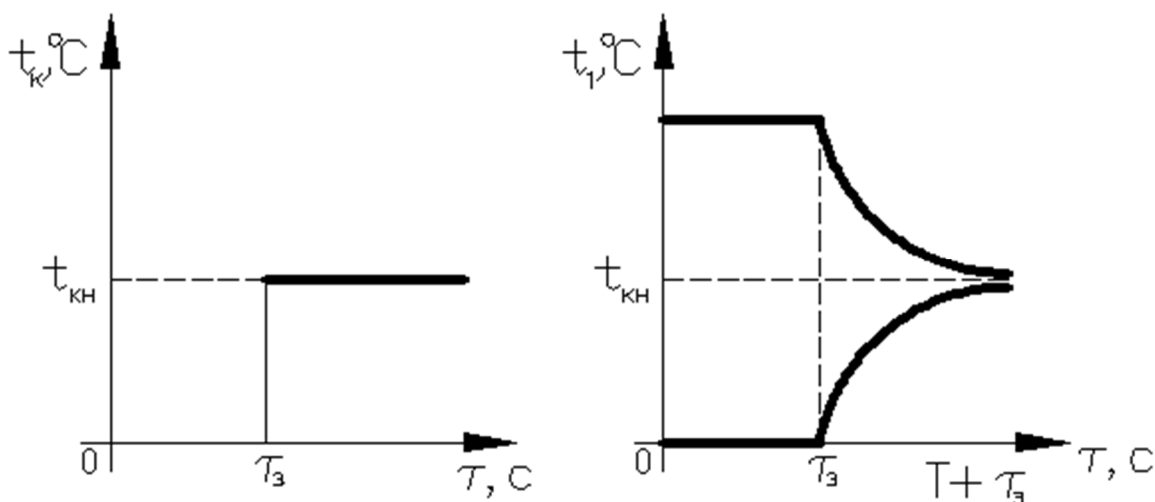


Рисунок 2 – Температурная характеристика входного сигнала t_k инерционного звена $k = 1$ (а); температурная характеристика входного сигнала t инерционного звена $k = 1$ (б)

Представим выражение (14) в виде:

$$t_A = t_k \left(1 - e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}} \right) + t_1 e^{-\frac{\tau - \tau_0}{T}}. \quad (16)$$

Используя соотношение (16), управление процессом теплоснабжения объекта при зависимом присоединении к тепловым сетям можно показать в виде структурной схемы (рис. 3).

Анализ формулы (16) показал, что слагаемое, содержащее t_k , соответствует большей инерционности по каналу регулирования t_A в сравнении со вторым слагаемым, содержащим t_1 , показывая что основной управляющей величиной в этом случае является температура t_1 в подающем трубопроводе, основной управляемой переменной – температура t_A в точке А (см. рис. 1). С другой стороны, в качестве управляющей переменной можно использовать время τ , что отражено на (рис. 3).

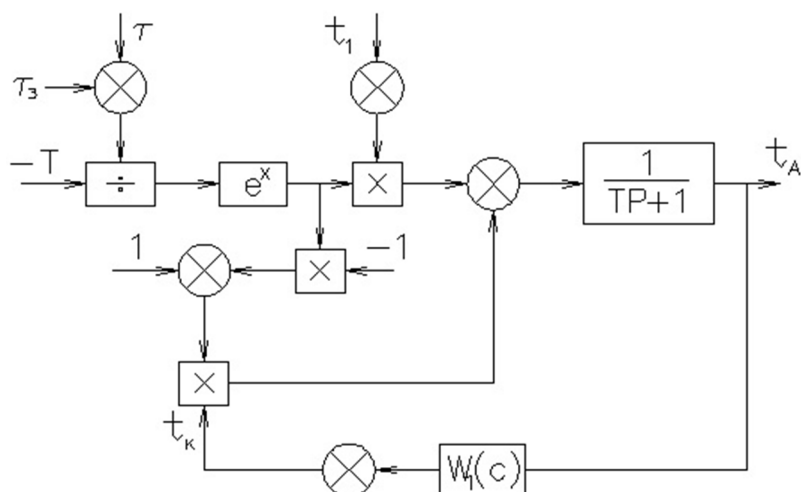


Рисунок 3 – Структурная схема системы управления процессом теплоснабжения здания при зависимом присоединении к тепловым сетям

Выводы

1. Получена математическая модель схемы управления процессом теплоснабжения при зависимом присоединении к тепловым сетям в нестационарном режиме.
2. На основе полученной математической модели разработана структурная схема управления процессом теплоснабжения зданий при зависимом теплоснабжении к тепловым сетям.
3. Анализ модели управления показал, что в качестве управляющих величин могут быть использованы переменные t_1 и τ , в качестве управляемой переменной – величина t_A .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федоров, С.С. Управление системой отопления зданий с позиции ресурсосбережения [Текст] / С.С. Федоров, Д.Н. Тютюнов, Н.В. Клюева // Строительство и реконструкция. – Орел: Госуниверситет – УНПК. – 2013. – №5. – С. 36-40.
2. Федоров, С.С. Математическая модель управления приводом системы отопления зданий и сооружений [Текст] // С.С. Федоров, Н.С. Кобелев, Д.Н. Тютюнов. – Воронеж: ВГАСУ. – 2010. – №4. – С. 35-42.
3. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст] / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1981. – 417 с.

Федоров Сергей Сергеевич

Юго-Западный государственный университет, г. Курск
 Преподаватель кафедры «Теплогазоводоснабжение»
 Тел.: +7 (4712) 52-38-14
 E-mail: ssfedorov@list.ru

S. FEDOROV

CONTROL SYSTEM OF PROCESS OF THE HEAT SUPPLY OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISES AT DEPENDENT ACCESSION TO THERMAL NETWORKS

In this article the control system of heat supply process at dependent accession to thermal networks in a non-stationary mode from a resource-saving position is considered. The mathematical model

and the block diagram of a control system is offered by heat supply process. The analysis of mathematical model of management with definition of managing directors and operated parameters is carried out.

Keywords: *energy saving, management of heat supply system, block diagram, resource-saving, heat carrier temperature, heat supply.*

BIBLIOGRAPHY

1. Fedorov, S.S. Upravlenie sistemoj otoplenija zdaniy s pozicii resursosberezhenija [Tekst] / S.S. Fedorov, D.N. Tjutjunov, N.V. Kljueva // Stroitel'stvo i rekonstrukcija. – Orel: Gosuniversitet – UNPK. – 2013. – №5. – S. 36-40.
2. Fedorov, S.S. Matematicheskaja model' upravlenija privodom sistemy otoplenija zdaniy i sooruzhenij [Tekst] // S.S. Fedorov, N.S. Kobelev, D.N. Tjutjunov. – Voronezh: VGASU. – 2010. – №4. – S. 35-42.
3. Isachenko, V.P. Teploperedacha [Tekst] / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Jenergija, 1981. – 417 s.

S. Fedorov

Southwest state university, Kursk

Teacher of the department «Heatgas supply and ventilation»

Ph.: +7 (4712) 52-38-14

E-mail: ssfedorov@list.ru

ХРУСТАЛЕВ Б.М., ПОКОТИЛОВ В.В., РУТКОВСКИЙ М.А.

ГЕЛИОСИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТА БЕЛАРУСИ

Для определения эффективности гелиосистемы предложена критериальная зависимость, правомерность которой доказана экспериментом. В результате анализа существующих гелиосистем, показаны особенности по выбору и проектированию эффективных гелиосистем и их элементов с учетом климата.

Ключевые слова: гелиосистема, гелиоколлектор, расчет эффективности гелиосистемы, жилой дом, возобновляемые источники энергии.

Удорожание невозобновляемых источников и экологические проблемы, связанные с их использованием приводят к изменению энергетической политики в мире [1, 2]. Однако при всей актуальности проблемы, существует множество препятствий на пути повсеместного внедрения возобновляемых источников энергии, в том числе гелиосистем теплоснабжения зданий.

Радиационный режим Беларуси аналогичен многим среднеевропейским странам с развитым применением солнечной энергии в области гелиоархитектуры домостроения и в области тепловых гелиосистем. В центральной Европе годовое количество солнечной прямой и рассеянной энергии на горизонтальную поверхность составляет 1000...1400 кВтч/м² (в Германии – 1200, в Беларуси – 1100 кВтч/м²), но для климата Беларуси характерны длительные периоды с преобладанием рассеянного излучения.

Для нагревания воды систем теплоснабжения используются гелиоколлекторы, преобразующие высокочастотное солнечное излучение в тепловую энергию, а также аккумулятор тепловой энергии, сглаживающий между собой нерегулярности поступления солнечной энергии и нерегулярности потребления теплоты системой теплоснабжения и горячего водоснабжения.

Традиционное решение гелиосистемы [1, 3...8, 13, 14] в виде принципиальной схемы горячего водоснабжения индивидуального жилого дома показано на рисунке 1. При этом эффективность гелиосистемы принято оценивать по эффективности работы гелиоколлектора, как главного элемента системы (рис. 1):

$$\frac{q_{п}}{q_{с}} = f\left(\frac{(t_{к} + t_{в})/2 - t_{н}}{q_{с}}\right) \quad (1)$$

где $q_{п}$ – теплопроизводительность коллектора, приведенная на 1 м² его площади, Вт/м²; $q_{с}$ – интенсивность падающего солнечного излучения в площади коллектора, Вт/м²; $t_{н}$ – температура окружающего гелиоколлектор «наружного» воздуха; $t_{в}$ – температура теплоносителя на входе в гелиоколлектор; $t_{к}$ – температура теплоносителя на выходе из гелиоколлектора.

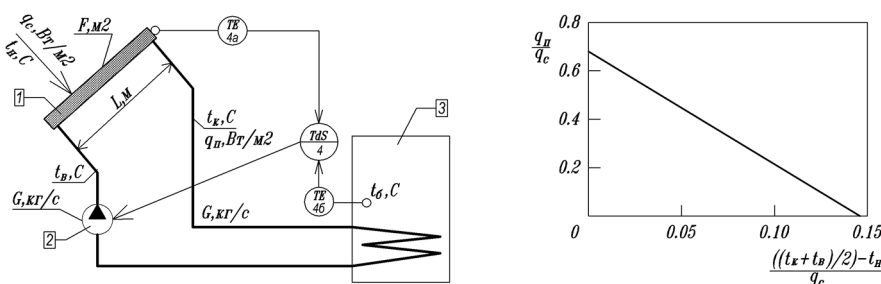


Рисунок 1 – Принципиальная схема гелиосистемы горячего водоснабжения [1, 3...8, 13, 14]:
1 – плоский гелиоколлектор; 2 – циркуляционный насос с постоянной скоростью вращения ротора; 3 – бак-аккумулятор; 4 – двухпозиционный регулятор перепада температуры; 4а, 4б – датчики температуры соответственно на выходе из гелиоколлектора и в баке-аккумуляторе

Зависимость (1) выявляется эмпирическим образом при стационарных тепловых условиях и постоянном расходе теплоносителя $G, \text{кг/ч}$ (аналогично для воздушных гелиоколлекторов).

Условно современные гелиоколлекторы можно разделить на гелиоколлекторы с повышенной теплоизоляцией и гелиоколлекторы с одинарным остеклением [1, 8]. Среди гелиоколлекторов с повышенной теплоизоляцией популярность приобрели трубчатые вакуумированные коллекторы. Основным элементом является «трубка», которая состоит из стеклянной колбы с двойным остеклением и вакуумированным зазором, и тепловоспринимающего элемента. Лучшими теплотехническими качествами для коллекторов такого типа обладают гелиоколлекторы с литым тепловым элементом из алюминиевого сплава. Внутри теплового элемента располагается U-образная медная трубка циркулирующего теплоносителя. Благодаря такой конструкции происходит непосредственный контакт тепловоспринимающего элемента с теплоносителем.

При анализе гелиоколлекторов учитывались некоторые эксплуатационные особенности вакуумированных трубчатых коллекторов [9], например, реальная тепловоспринимающая поверхность трубчатого коллектора составляет 0,60...0,62 от его геометрической поверхности. (рис. 2).

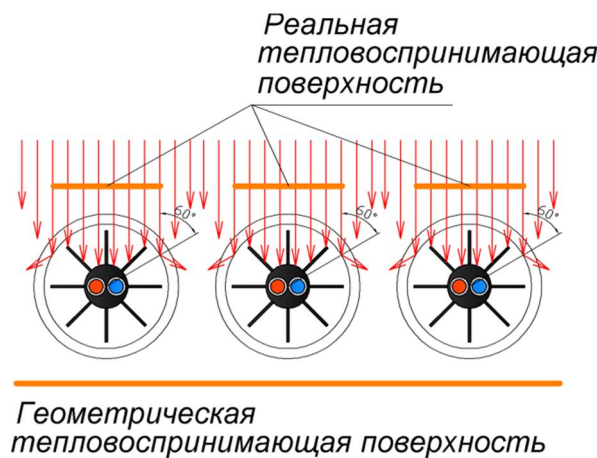


Рисунок 2 – Оценка реальной тепловоспринимающей поверхности трубчатых коллекторов

Для плоских коллекторов это соотношение составляет 0,9...0,85. Таким образом, для получения идентичной тепловоспринимающей поверхности геометрическая поверхность трубчатых коллекторов должна быть в $0,88/0,61=1,44$ раза больше. Поэтому, при сравнении стоимости также следует сравнивать между собой удельную стоимость одного квадратного метра реальной поверхности плоского и трубчатого коллектора.

Для климатических и эксплуатационных условий Беларуси более соответствуют солнечные плоские коллекторы с одинарным светопрозрачным покрытием. Они отличаются между собой конструкцией корпуса, конструкцией тепловых элементов, оптическими и механическими характеристиками остекления. В плоских гелиоколлекторах применяется обычное оконное силикатное стекло, выдерживающее удары крупного града и значительные изгибающие нагрузки, а также стекла со специальной наружной поверхностью, которая исключает отражение солнечных лучей при угле падения менее 30 градусов. Наиболее качественные плоские гелиоколлекторы имеют высокую прочность корпуса, в том числе на изгиб, и долговременность его существования, а также качество и долговременность герметика остекления коллектора.

Расчетная производительность насоса или вентилятора $G=const$ проектируется, как правило, на расчетную тепловую мощность гелиосистемы при номинальном значении q_c [4, 6, 7]. В этом случае расчетное распределение температуры по ходу движения L теплоносителя в коллекторе будет иметь линейный характер. Под воздействием реальной, отличной от расчетной, интенсивности q_c (при $G=const$) распределение температуры по ходу движения L теплоносителя не является линейным [4, 6, 7, 8, 14]. В случае максимальной интенсивности излучения теплоноситель приобретает максимальную температуру, пройдя лишь часть пути до выхода из коллектора, поэтому для повышения тепловой мощности коллектора следует увели-

чить расход теплоносителя. При малой интенсивности излучения теплоноситель имеет минимальную температуру, поэтому для повышения температуры и увеличения периода работы насоса следует уменьшить расход теплоносителя. Нелинейный характер распределения температуры характерен для коллектора с параллельным соединением нагревательных элементов (рис. 3, б) [14].

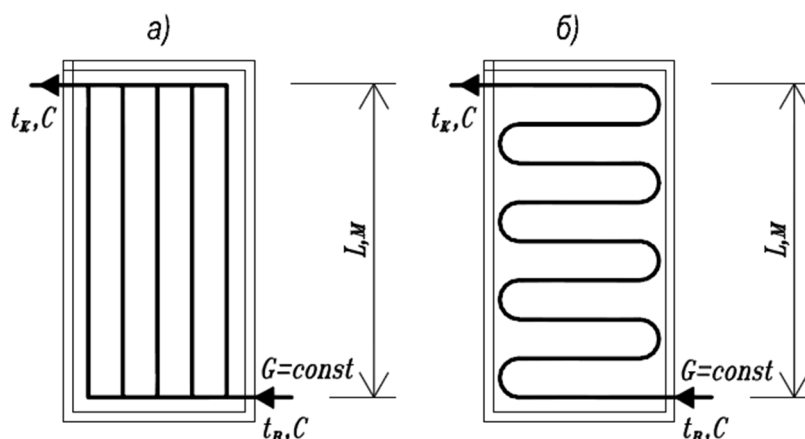


Рисунок 3 – Схемы плоских гелиоколлекторов с одинарным светопрозрачным покрытием, имеющие возможность работы с естественной циркуляцией теплоносителя [4...6]

Для оценки взаимосвязанных процессов теплообмена от солнечного излучения к циркулирующему теплоносителю воспользуемся теорией подобия для выявления определяющих безразмерных комплексов [10...12]. Ввиду сложности математического описания происходящих процессов используем метод размерностей. Для гелиосистемы с принудительным движением теплоносителя выявляем следующий список размерных величин:

$$q_{\text{п}} = f(q_{\text{с}}, \theta_{\text{н}}, \theta_{\text{к}}, G / (F\rho), \nu, \rho, L). \quad (2)$$

Для гелиосистем с естественной циркуляцией:

$$q_{\text{п}} = f(q_{\text{с}}, \theta_{\text{н}}, \theta_{\text{к}}, G / F, \nu, h), \quad (3)$$

где $\theta_{\text{н}} = (t_{\text{к}} + t_{\text{в}}) / 2 - t_{\text{н}}$ – разность между средней температурой теплоносителя в коллекторе и температурой окружающей среды, °C; $\theta_{\text{к}} = t_{\text{к}} - t_{\text{в}}$ – разность температур теплоносителя на выходе из коллектора и на входе в коллектор, °C; G – расход теплоносителя через гелиоколлектор, кг/с; F – площадь гелиоколлектора, м²; ν – кинематическая вязкость воды, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, м²/с; ρ – плотность воды, принимаемая по средней температуре теплоносителя в гелиоколлекторе, кг/м³; L – размер гелиоколлектора в направлении движения теплоносителя, м; h – разность отметок центров нагрева и охлаждения гелиосистемы, м.

Анализ размерностей производных величин позволяет составить следующие критериальные зависимости соответственно для принудительной и естественной циркуляции теплоносителя:

$$\frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{с}}} = f\left(\frac{\theta_{\text{к}}}{\theta_{\text{н}}} \cdot \frac{(G/F)^2 \cdot \nu}{q_{\text{с}} \cdot L^2}\right) = f(A) \quad (4)$$

$$\frac{q_{\text{п}}}{q_{\text{с}}} = f\left(\frac{\theta_{\text{к}}}{\theta_{\text{н}}} \cdot g \cdot \sqrt{\frac{h^3}{S \cdot F^2 \cdot q_{\text{с}} \cdot \nu}}\right) = f(B), \quad (5)$$

где S – характеристика сопротивления, Па·с²/кг².

Полученные зависимости (4) и (5), в отличие от (1), учитывают влияние расхода теплоносителя и содержат дополнительные параметры и является общей для всех типоразмеров, поэтому могут служить основанием для построения методики расчета и проектирования гелиосистем. Константы для (4) и (5) могут быть получены из эксперимента.

Были проведены предварительные исследования с использованием плоского гелиоколлектора. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 4.

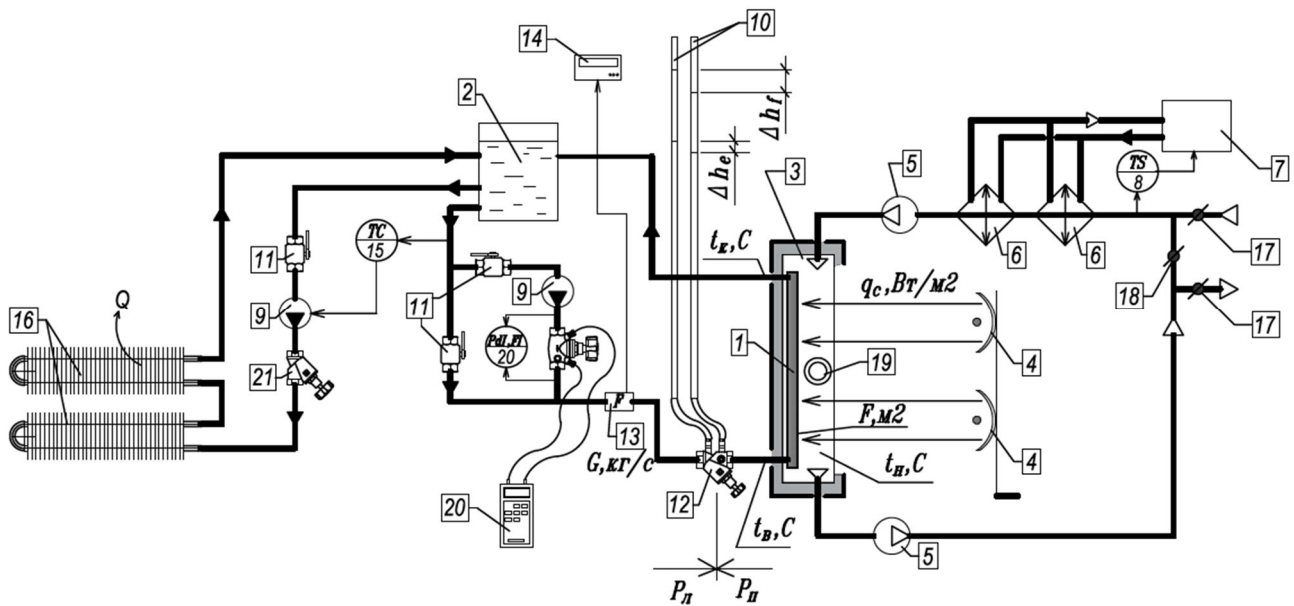


Рисунок 4 – Схема лабораторной установки для испытания гелиоколлектора.
 1 – плоский гелиоколлектор; 2 – бак-аккумулятор; 3 – термостатическая камера,
 4 – галогенные лампы; 5 – вентилятор; 6 – воздухоохладитель; 7 – холодильная установка,
 8 – регулятор температуры в термостатической камере; 9 – насос циркуляционный,
 10 – пьезометрические трубки; 11 – шаровый кран; 12 – балансовый клапан с измерительными
 штуцерами с краном для слива; 13 – ультразвуковой расходомер счетчика коммерческого
 учета теплоты; 14 – электронный блок счетчика коммерческого учета теплоты;
 15 – регулятор температуры пропорциональный, 16 – водоохладитель (в виде двух
 конвекторов, соединенных последовательно); 17 – воздушная заслонка (в закрытом положении);
 18 – воздушная заслонка на байпасе (в открытом положении); 19 – пиранометр;
 20 – компьютер для измерения перепада давления и расхода; 21 – запорный вентиль

Исследования проводились в несколько этапов при стационарных условиях теплообмена. Испытания производились для воздушного и водяного плоского гелиоколлектора.

Испытания гелиосистемы были проведены с насосной и естественной циркуляцией теплоносителя при различной интенсивности излучения. Варьировались независимые переменные G , t_n , t_b , q_c . Полученные экспериментально данные для насосной циркуляции были сравнены графически с теоретическими значениями традиционного способа определения эффективности гелиосистемы.

Результаты обработки экспериментальных исследований воздушного гелиоколлектора при естественной циркуляции теплоносителя в виде критериальной зависимости (5) представлены на рисунке 5.

Существующая в Европе практика проектирования и эксплуатации крупных гелиосистем для жилых зданий не может быть в полной мере привнесена в нашу практику по целому ряду объективных причин. Основной из них является отсутствие специализированных сервисных служб, поэтому обслуживать будут работники ЖЭС. Именно поэтому в технических решениях предлагаем разрабатывать для гелиосистемы такие технические решения, которые могут эксплуатироваться работниками ЖЭС на базе имеющейся квалификации. Предлагаем применять такие устройства для гелиосистем теплоснабжения и горячего водоснабжения, которые не требуют планового периодического обслуживания. Например, с учетом уже имеющегося опыта проектирования и внедрения, следует отказаться от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, которые работают под атмосферным давлением, а также следует разработать баки-аккумуляторы требуемых объема и высоты для условий эксплуатации под атмосферным давлением.

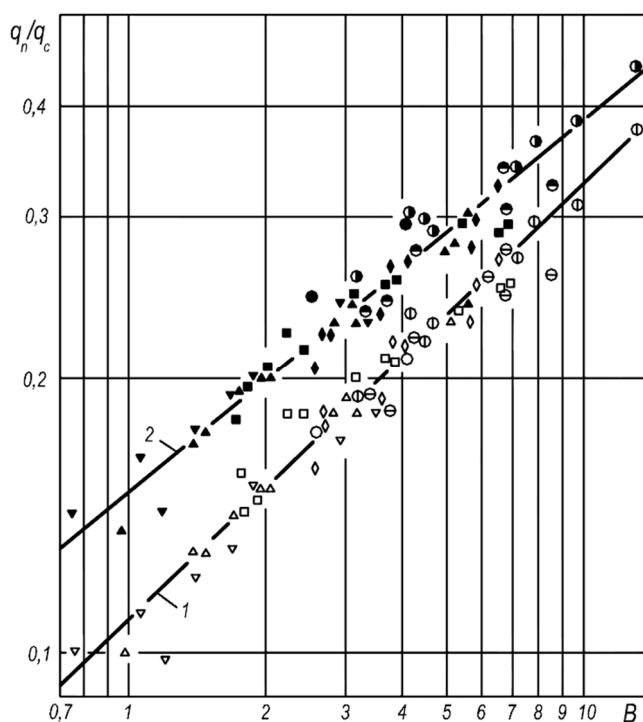


Рисунок 5 – Зависимость эффективности гелиоколлектора от величины B с учетом дополнительного теплопоступления в помещение от коллектора (линия 2) и без учета (линия 1)

Обозначения	h , м	F , м ²	S , Па·с ² /кг ²	q_c , Вт/м ²	t_{in} , °C
○	2,32	1,81	19440	270...510	2...10
⊖	2,32	1,81	7258	270...510	0...10
⊕	2,32	1,81	2981	270...510	-5...10
▽	1,72	1,37	18533	290...550	-5...10
△	1,72	1,37	6869	290...550	-7...10
□	1,72	1,37	5054	290...550	-10...10
◇	1,72	1,37	2333	290...550	-5...10

Результаты анализа и исследования гелиосистем позволяют сделать следующие выводы:

1. Для климатических и эксплуатационных условий Беларуси приоритетными являются солнечные плоские коллекторы с одинарным светопрозрачным покрытием.

2. При выполнении тестовых испытаний коллекторов гелиосистем результаты испытаний необходимо обрабатывать и представлять не только в виде зависимости (1), но также и в виде предлагаемых критериальных зависимостей (4) и (5), так как зависимость (1) дает только оценочную характеристику гелиоколлекторов для сравнения между их различными типами.

3. Предложенные критериальные зависимости (4) и (5) позволяют выполнять проектные тепловые и гидравлические расчеты гелиосистем при параллельном и последовательном соединении гелиоколлекторов в различных гелиосистемах.

4. Гидравлическая схема проектируемых гелиосистем должна предусматривать автоматическое уменьшение расхода теплоносителя при уменьшении интенсивности солнечного излучения, что значительно повысит сезонную эффективность гелиосистемы за счет повышения температуры нагрева теплоносителя при малой интенсивности излучения и снижения периода «пауз» в двухпозиционном режиме автоматического управления гелиосистемой.

5. Следует отказаться от мембранных расширительных баков, заменив их расширительными баками специальной конструкции, которые работают под атмосферным давлением,

а также следует разработать баки-аккумуляторы требуемых объема и высоты для условий эксплуатации под атмосферным давлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Foster R., Ghassemi, M., Cota, A. Solar energy: renewable energy and the environment. USA. – 2010. – 383 p.
2. Sorensen B. Renewable energy. Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. Third edition. Denmark. – 2004. – 927 p.
3. Селиванов, Н.П. Энергоактивные здания [Текст] / Н.П. Селиванов, А.И. Мелуа, С.В. Зоколей и др. – М.: Стройиздат, 1988. – 376 с.
4. Андерсон, Б. Солнечная энергия: Основы строительного проектирования [Текст] / Б. Андерсон. – М.: Стройиздат, 1982. – 375 с.
5. Харченко, Н.В. Индивидуальные солнечные установки [Текст] / Н.В. Харченко. – М.: Энергоатомиздат. – 1991. – 208 с.
6. Аvezов, Р. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения [Текст] / Р. Аvezов, М. Барский-Зорин, И. Васильева и др. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
7. Othmar Humm. Niedrigenergiehauser in Theorie und Praxis. 226 S.m.v. Abb. 1990.
8. Chen C.J. Physics of solar energy. – USA, 2011. – 373 p.
9. Покотилов, В.В. Гелиосистемы теплоснабжения и горячего водоснабжения жилых зданий (для проектировщиков и специалистов в области энергоэффективного теплоснабжения жилых зданий) [Текст] / В.В. Покотилов. – Минск: Программа развития ООН в Республике Беларусь. – 2014. – 30 с.
10. Гухман, А.А. Введение в теорию подобия [Текст]. – М.: Высшая школа, 1973. – 254 с.
11. Исаченко, В.П. Теплопередача [Текст]: Учебник для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.
12. Кружилин, Г.Н. Теория подобия и тепловое моделирование [Текст] / Г.Н. Кружилин. – АН СССР. – М.: Наука, 1987. – 168 с.
13. Mach T., Heimrath R. IEA Solar Heating & Cooling Programme. Task 37: Fortschrittliche thermische Gebäudesanierung. Beriche aus Enegie – und Umweltforschung. 57/2010. – 162 s.
14. Хрусталеv, Б.М. К вопросу проектирования водонагревательных гелиосистем с плоскими коллекторами для домов усадебного типа [Текст] / Б.М. Хрусталеv, В.В. Покотилов, М.А. Рутковский, Нгуен Тху Нга // Энергетика (Известия высш. уч. заведений и энергетических объединений СНГ). – Минск. – 2011. – №4. – С. 32-39.

Хрусталеv Б.М.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
Доктор технических наук, профессор

Покотилов В.В.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: pokotilov@tut.by

Рутковский М.А.

Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь
Исследователь в области технических наук
E-mail: maxrut@tut.by

B. KHRUSTALEV, V. POKOTILOV, M. RUTKOWSKI

SOLAR HEATING SYSTEMS IN RESIDENTIAL CONSTRUCTION IN THE CLIMATIC CONDITIONS OF BELARUS

Criterion expression is suggested for determination of power efficiency of solar system, which validity is proved by experiment. As a result of analysis of existing solar power systems and climate, the features of the selection and design of efficient solar power systems and their components are given.

Keywords: solar system, solar collector, calculation of efficiency of solar system, residential building, renewable energy.

BIBLIOGRAPHY

1. Foster R., Ghassemi, M., Cota, A. Solar energy: renewable energy and the environment. USA. – 2010. – 383 p.
2. Sorensen B. Renewable energy. Its physics, engineering, use, environmental impacts, economy and planning aspects. Third edition. Denmark. – 2004. – 927 p.
3. Selivanov, N.P. Jenergoaktivnye zdaniya [Tekst] / N.P. Selivanov, A.I. Melua, S.V. Zokolej i dr. – M.: Strojizdat, 1988. – 376 s.
4. Anderson, B. Solnechnaja jenergiya: Osnovy stroitel'nogo proektirovaniya [Tekst] / B. Anderson. – M.: Strojizdat, 1982. – 375 s.
5. Harchenko, N.V. Individual'nye solnechnye ustanovki [Tekst] / N.V. Harchenko. – M.: Jenergoatomizdat. – 1991. – 208 s.
6. Avezov, R. Sistemy solnechnogo teplo- i hladosnabzheniya [Tekst] / R. Avezov, M. Barskij-Zorin, I. Vasil'eva i dr. – M.: Strojizdat, 1990. – 328 s.
7. Othmar Humm. Niedrigenergiehauser in Theorie und Praxis. 226 S.m.v. Abb. 1990.
8. Chen C.J. Physics of solar energy. – USA, 2011. – 373 p.
9. Pokotilov, V.V. Geliosistemy teplosnabzheniya i gorjachego vodosnabzheniya zhilyh zdaniy (dlja proektirovshhikov i specialistov v oblasti jenergojeffektivnogo teplosnabzheniya zhilyh zdaniy) [Tekst] / V.V. Pokotilov. – Minsk: Programma razvitiya OON v Respublike Belarus'. – 2014. – 30 s.
10. Guhman, A.A. Vvedenie v teoriju podobija [Tekst]. – M.: Vysshaja shkola, 1973. – 254 s.
11. Isachenko, V.P. Teploperedacha [Tekst]: Uchebnik dlja vuzov. 4-e izd., pererab. i dop. / V.P. Isachenko, V.A. Osipova, A.S. Sukomel. – M.: Jenergoizdat, 1981. – 417 s.
12. Kruzhilin, G.N. Teorija podobija i teplovoe modelirovanie [Tekst] / G.N. Kruzhilin. – AN SSSR. – M.: Nauka, 1987. – 168 s.
13. Mach T., Heimrath R. IEA Solar Heating & Cooling Programme. Task 37: Fortschrittliche thermische Gebäudesanierung. Beriche aus Enegie – und Umweltforschung. 57/2010. – 162 s.
14. Hrustalev, B.M. K voprosu proektirovaniya vodonagrevatel'nyh geliosistem s ploskimi kollektorami dlja domov usadbnogo tipa [Tekst] / B.M. Hrustalev, V.V. Pokotilov, M.A. Rutkovskij, Nguen Thu Nga // Jenergetika (Izvestija vyssh. uch. zavedenij i jenergeticheskikh ob#edinenij SNG). – Minsk. – 2011. – №4. – S. 32-39.

B. Khrustalev

Belarusian national technical university, Minsk, Republic of Belarus
Doctor of technical sciences, professor

V. Pokotilov

Belarusian national technical university, Minsk, Republic of Belarus
Candidate of technical sciences, senior lecturer
E-mail: pokotilov@tut.by

M. Rutkowski

Belarusian national technical university, Minsk, Republic of Belarus
Researcher in the field of technical sciences
E-mail: maxrut@tut.by

ШАЛЕННЫЙ В.Т., КАПШУК О.А.

РЕЗЕРВЫ СНИЖЕНИЯ ТРУДОЗАТРАТ И СТОИМОСТИ МОНОЛИТНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЗА СЧЕТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ РАЗБОРНО- ПЕРЕСТАВНЫХ ОПАЛУБОК

В статье изложены методика и результаты вычислительного эксперимента по исследованию технико-экономических показателей возведения монолитного каркаса в разборно-переставной опалубке. Рассмотрены наиболее распространенные в Украине системы такой опалубки, которые могут использоваться для бетонирования зданий на условиях аренды или покупки подрядной организацией. Доказаны существенные отличия полученных показателей продолжительности, удельных себестоимости и трудоемкости железобетонных работ по рассмотренным возможным вариантам технологий. Что позволяет говорить о резервах их экономии при выборе рациональной системы опалубок и условий ее использования на конкретном объекте.

Ключевые слова: опалубка, резерв, продолжительность, себестоимость, технико-экономические показатели.

По уровню технических и экономических показателей железобетон является основным конструкционным материалом современности, лидируя в общей структуре мирового производства строительной продукции [1]. С момента его изобретения и до настоящего времени продолжают научно-технические разработки, способствующие распространению железобетонных конструкций, повышению эффективности их производства и эксплуатации. С одной стороны, например, разрабатываются легкие и ультра легкие бетоны [2], различные модифицирующие добавки к бетону [3], с другой стороны, конструируются сборно-монолитные конструкции [4] у которых, с одновременным уменьшением веса конструкций, сокращается доля арматурно-опалубочной составляющей в себестоимости работ [5]. Что позволяет не только уменьшить сроки возведения зданий, но и снизить затраты на приобретение комплектов опалубки либо сроков ее аренды [6]. Ведь уже часто и сами разработчики опалубки соглашаются с тем, что существенную часть всех затрат на возведение железобетонного каркаса здания составляет оплата опалубочных работ [7]. Поэтому целесообразно ускорение оборачиваемости опалубки, в том числе, и путем рационального выбора комплекта, а также совмещения и продолжительности технологических процессов с ее использованием [8, 9].

Для оценки резервов сокращения сроков производства железобетонных работ на объекте с последующим определением технико-экономических показателей по альтернативным вариантам технологии необходимо многовариантное организационно-технологическое проектирование с составлением календарных графиков выполнения работ. Важную часть составляют при этом длительность бетонирования, а также сроки выдержки бетона в опалубке до ее снятия [10]. Но, в последние десятилетия, практически нет опубликованных работ по исследованию и учету влияния разновидностей разборно-переставных опалубок на технологические и экономические показатели их использования.

В то же время, на рынке индустриальных опалубочных систем произошли кардинальные перемены. Например, по данным Государственной службы статистики Украины, в настоящее время, наиболее распространены разборно-переставные опалубки (рис. 1, а), из которых почти 70% общего объема продаж принадлежит трем известным производителям и поставщикам: Ulma, Doka и Peri (рис. 1, б).

До сих пор нет выделения отличий затрат трудовых ресурсов в нормативных документах перечисленных современных опалубочных систем: ни в элементных ресурсных сметных нормах Украины [11], ни в аналогичных Российской Федерации [12]. Хотя в обоих случаях в нормативных документах представлена опалубка фирмы Дока. Позже, в дополнениях к по-

следним сметным нормативам, появляются отдельно нормы затрат труда при устройстве конструкций в опалубках Doxa, Peri, а так же Модостор, но там отдельно не выделены работы на устройство опалубки и арматуры. Примерно в это же время, в Украине утверждаются и публикуются ДСТУ Б Д.2.2-1:2008, где нормируются затраты труда рабочих и машинного времени на опалубочные работы опять же с использованием опалубочной разборно-переставной системы фирмы Doxa [13]. К сожалению, использование и этих нормативов для составления графиков производства работ не представляется возможным, ведь там нет разделения норм затрат труда на отдельные упомянутые составляющие по видам работ.

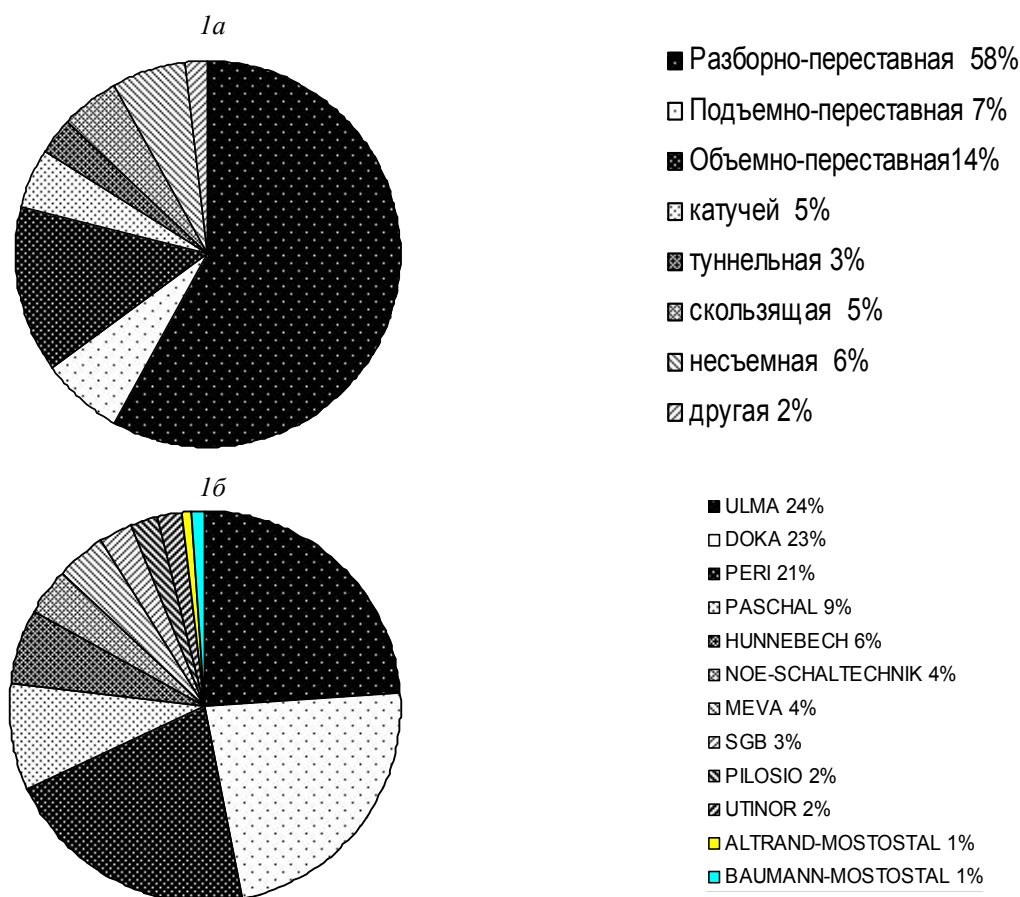


Рисунок 1 – Распространение в Украине разновидностей систем опалубок (а) и удельный вес фирм-производителей разборно-переставной опалубки (б)

Учитывая изложенную ситуацию и пользуясь известными методическими материалами [14-18], мы выполнили необходимые хронометражные наблюдения на строительных объектах г. Днепропетровска и Киева (там хронометраж проводили специалисты центра УГНИЦ «Ци-нобуд» НТС Госстроя Украины). В результате обработки полученной информации по упомянутым методикам были установлены расчетные нормы времени на опалубочные работы при возведении относительно распространенных железобетонных конструкций гражданских зданий (табл. 1).

Чтобы оценить резервы снижения себестоимости, трудоемкости и сокращения сроков выполнения железобетонных работ при использовании изученных наиболее распространенных систем опалубок, далее выполнялось многовариантное проектирование графиков производства работ на пяти отобранных объектах-представителях. Технические характеристики этих объектов, пределы изменений исследуемых параметров технологии представлены в таблице 2.

Для учета всех возможных вариантов проектирования технико-экономических показателей и удобства расчета все объекты были сведены в матрицу планирования многовариантного вычислительного эксперимента (табл. 3). В ней отдельно учтены условия использования

Строительство и реконструкция

опалубки (аренда или покупка). Стоимости просчитывались в сметно-программном вычислительном комплексе АВК-5 (аналог российских программ Гранд-смета, Эксперт-Смета и т. п.)

Таблица 1 – Полученные затраты времени на выполнение опалубочных работ в опалубках фирм Peri, Ulma и сравнение их с нормируемыми для опалубки фирмы Doка на территории Украины (единица измерения – 100 куб. м. железобетона в конструкции)

Фирмы-производители	Peri		Ulma		Doка	
	чел.-час.	маш.-час.	чел.-час.	маш.-час.	чел.-час.	маш.-час.
работы	Затраты времени на опалубочные работы					
опалубка для устройства глухих стен, толщиной 150мм (базовая норма 6-53-1 [13])						
монтаж	2244,95	286,13	измерения не проводились		1288	378
демонтаж	562,07	106,83			334,6	61,6
Всего	2806,99	392,96	–	–	1622,6	439,6
опалубка для устройства колонн периметром до 3м (базовая норма 6-53-7 [13])						
монтаж	374,56	38,89	510,52	46,61	892,803	213,449
демонтаж	205,71	23,14	258,49	36,79	326,297	32,751
Всего	580,27	62,03	769,01	83,40	1219,1	246,2
опалубка для устройства без балочных перекрытий, толщиной до 150 мм (базовая норма 6-53-8 [13])						
монтаж	168,94	53,58	314,84	53,58	496,005	73,103
демонтаж	133,74	9,62	161,48	9,62	152,995	9,997
Всего	302,68	63,2	476,32	63,2	649	83,052

Таблица 2 – Объекты, отобранные для вариантного технологического проектирования





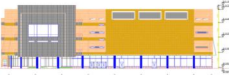
№ и показатели	1	2	3	4	5
Фасад					
К-во этажей	10	5 и 7	24	2 и подвал	3 и 2 цокольных этажа
К-во секций	1	2	1	1	1
Размеры в плане, м	29,400×16,100	23,900×15,600	45,100×24,500	42.740×23.000	96,000×84,750 и 68,000×69,000
Высота, м	+28,160	+15,000 та +21,000	+79,200	+13,050	+19,700
Объем бетона, куб.м.	1537,86	950,32	9487,71	932,72	6657,265
Сечение колонн, м	0,4×0,4	0,4×0,4	0,5×0,5 и 0,6×0,6	0,4×0,4	0,5×0,5
Толщина перекрытий, м	0,15	0,15	0,2	0,2	0,22 та 0,18
Толщина стен, м	0,15	0,15	0,4	нет в проекте	0,2

Таблица 3 – Матрица планирования и результаты вычислительного эксперимента

Вариант матрицы	Шифр объекта исследования	Фирмы-производители опалубочных систем	Условия использования опалубки (покупка – К или аренда –А)	Продолжительность комплекса работ по бетонированию каркаса, суток	Общая трудоемкость работ, чел.-дни
1	1	Doka	К	356	1293,02
2		Doka	А		
3		Peri	К	300	
4		Peri	А		
5		Ulma	К	350	
6		Ulma	А		
7	2	Doka	К	354	1771,7
8		Doka	А		
9		Peri	К	317	
10		Peri	А	334	1656,08
11		Ulma	К		
12		Ulma	А		
13	3	Doka	К	751	11318,41
14		Doka	А		
15		Peri	К	670	
16		Peri	А		
17		Ulma	К	753	
18		Ulma	А		
19	4	Doka	К	343	1207,36
20		Doka	А		
21		Peri	К	289	
22		Peri	А		
23		Ulma	К	333	
24		Ulma	А		
25	5	Doka	К	952	10243,97
26		Doka	А		
27		Peri	К	845	
28		Peri	А		
29		Ulma	К	885	
30		Ulma	А		

Исходными данными для технологических расчетов возведения объектов служили их рабочие чертежи (планы, разрезы и детализовка конструктивных элементов). На этой основе были составлены номенклатура работ и определены их объемы. Причем объемы определялись отдельно по каждой разновидности работ, входящих в комплекс по возведению только монолитного каркаса. С целью упорядочения объема расчетных работ при обработке различных вариантов для календарного плана возведения каркасов здания, проводилась разбивка на захватки по отдельным разновидностям возводимых конструкций. Эти захватки в дальнейшем были сформированы в комплексы (фронты) работ по этажам здания, придерживаясь следующих правил:

а) в каждый комплекс включали те работы, после выполнения которых на объекте могут выполняться работы последующего комплекса. Например, после возведения монолитных колонн (с технологически необходимой выдержкой до демонтажа опалубки) на первой захватке можно приступить к устройству монолитного перекрытия на этой же захватке и т.п.;

б) номенклатура фронта работ составлялась в соответствии с условиями возможной технологической совместимости и последовательности их выполнения.

Квалификационный состав бригады отвечал рекомендациям ЕНиР, где указываются специальность рабочих и их разряд для выполнения определенного вида работ. Далее, через трудоемкость, сменность и состав исполнителей определялись продолжительности работ на захватках. Эти расчеты и были основой для построения вариантов календарных графиков возведения каркаса соответствующего объекта в среде программного комплекса Project Manager. Как результат моделирования, были получены продолжительности и трудоемкости по отобраным вариантам выполнения комплекса железобетонных работ (табл. 3).

Затем выполнялись расчеты стоимости возведения монолитного каркаса, где использовался программный комплекс АВК-5 и ДБН.Д. 1.1-2000 [19], в котором содержится и используется ныне действующая в Украине система ценообразования на строительные-ремонтные работы с целью установления сметной стоимости по единичным нормам. На основе этих норм и текущих цен на трудовые и материально-технические ресурсы определялись прямые затраты в себестоимости строительства. В составе локальных смет отдельные конструктивные элементы монолитного каркаса и виды работ были сгруппированы в разделы. Порядок расположения работ в локальных сметах и их группировка в разделы соответствуют технологической последовательности производства работ. Далее приведен фрагмент локальной сметы для 1-го объекта (рис. 2).

№ п/п	Шифр і номер позиції нормативу	Найменування робіт і витрат, одиниця виміру	Кількість	Вартість одиниці, грн.		Загальна вартість, грн.			Загально-нормовані витрати, грн.	
				усього	експлуатації машин	усього	заробітної плати	експлуатації машин		у т.ч. заробітної плати
Відділ 1. 6 захваток колон										
1	ЕД6-62-24 п.ч. п.3.2.1 к=0,93	Встановлення арматури окремими стрижнями із заварюванням вузлів в колони і стійки рам з хомутами простої форми, діаметр арматури, мм понад 26 [при виконанні робіт на висоті [глибині] від поверхні землі 15 м]	23,46	334,90 204,45	59,79 12,47	7857	4796	15191 4004 1403 293	14812 4404	
2	С124-27	Гарячекатана арматурна сталь періодичного профілю, клас А-III, діаметр 32-40 мм	23,46	8821,46	-	206951	-	-	-	
3	С113-2086	Фіксатор пластмасовий одинарний із защіпою діам. 20х2,25 мм	306	0,67	-	205	-	-	-	
4	ЕД6-62-21 п.ч. п.3.2.1 к=0,93	Встановлення арматури окремими стрижнями із заварюванням вузлів в колони і стійки рам з хомутами простої форми, діаметр арматури, мм понад 8 до 12 [при виконанні робіт на висоті [глибині] від поверхні землі 15 м]	0,06	482,19 348,72	113,25 23,02	29	21	7 1	19	
5	С113-2086	Фіксатор пластмасовий одинарний із защіпою діам. 20х2,25 мм	324	0,67	-	217	-	-	-	
Витрати ресурсів:				на одиницю	усього	Разом по кошторису				
матеріалів, грн.					271055	892858	49712	56550	56346	
витрати праці робітників, не зайнятих обслуговуванням машин, люд.-г.					995					
витрати праці робітників, що обслуговують машини, люд.-год.					262		15508			

Рисунок 2 – Фрагмент расчета локальной сметы в программном комплексе АВК-5

Если вернуться к матрице вычислительного эксперимента, то там отдельным столбиком вынесены два варианта использования опалубки – покупка или аренда. В связи с чем, в варианте покупки комплекта разборно-переставной опалубки, при составлении локальных смет объекта, необходимо было стоимость опалубки разделить на нормативное количество оборотов и, в таком виде, добавить к стоимости материальных ресурсов. Например, стоимость одной стойки для устройства перекрытия около 1400 грн., а нормативное ее количество оборотов 220, поэтому получаем цену на 1 оборот стойки, равную 6,36 грн.

При условиях аренды опалубки, в локальных сметах, из результатов необходимо было исключить полностью все затраты ресурсов, касающихся опалубочных систем. Согласно ДБН.Д.1.1-2000, затраты ресурсов на аренду опалубки не входят в прямые затраты. А поэтому, отдельным расчетом, необходимо было подвести сумму аренды опалубки, но с учетом полученной по графикам продолжительности нахождения опалубки на строительстве, и внести ее непосредственно в подсистему Договорной цены АВК-5.

Все результаты, полученные по приведенной методике, приведены к удельным показателям и сведены в виде гистограмм на рисунке 3.

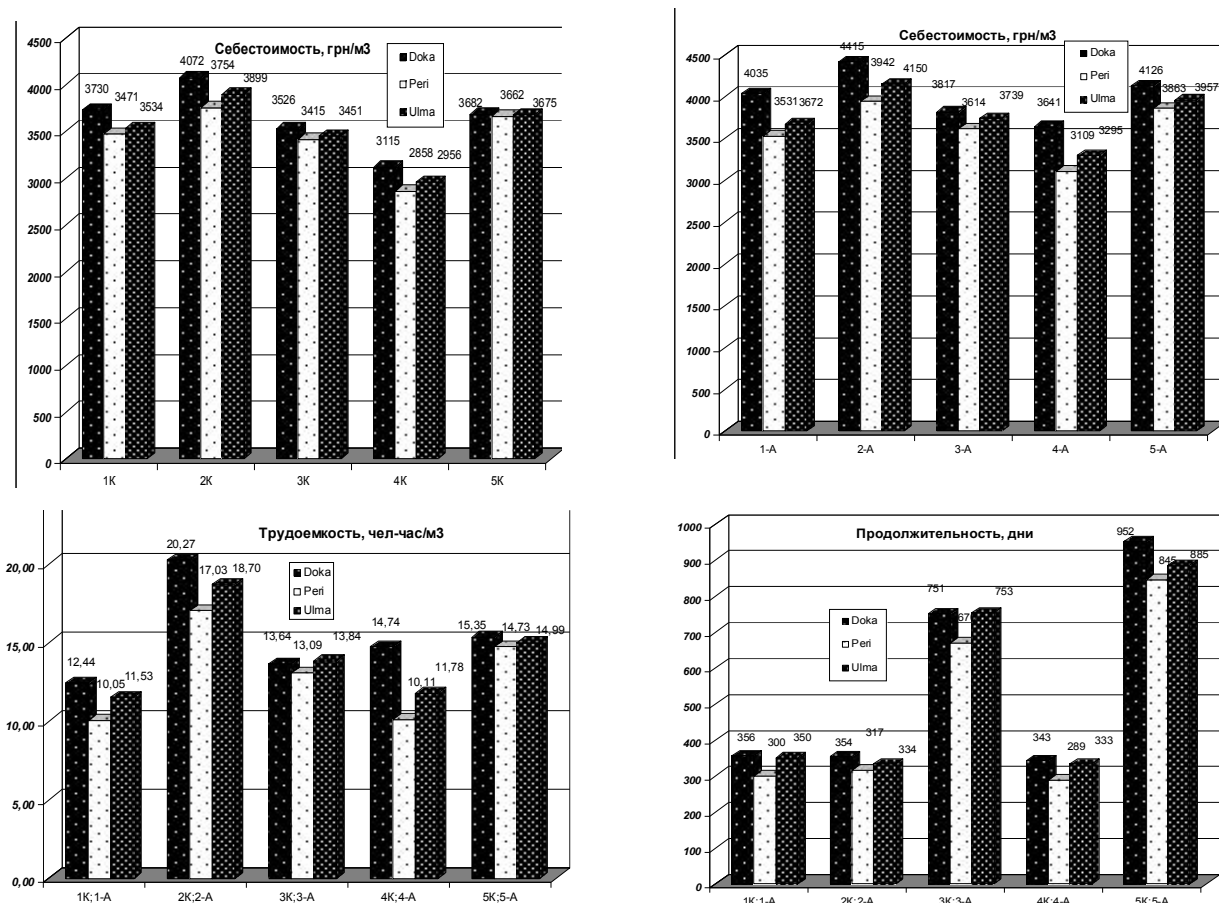


Рисунок 3 – Результаты моделирования технико-экономических показателей рассмотренных вариантов технологии и организации возведения каркасов зданий 1-5 на условиях использования опалубки: К – покупка; А – аренда

Эти графические материалы подтверждают наше предположение об их существенных отличиях как по смоделированным объектам, так и системах опалубок и условиях их использования на стройплощадках. Так, во всех смоделированных вариантах технологии, по всем рассмотренным показателям, преобладает технология с использованием опалубочной системы фирмы Peri. Несколько хуже является использование опалубочной системы Ulma, а худшие показатели демонстрирует именно наиболее распространенная и предусмотренная действующими в Украине и Российской Федерации нормативами опалубка фирмы Doka. Разница в удельной себестоимости составляет до 259 грн./куб. м железобетона (7%) при покупке необходимого комплекта опалубки и до 532 грн. / куб. м (13,5%) на условиях ее аренды.

Еще большие колебания наблюдаются в показателях удельной трудоемкости железобетонных работ: от 0,2 чел.-час. /куб. м для третьего самого высокого объекта (всего 1,44%) до 4,63 чел.-час./куб. м для четвертого (31,4%). Продолжительность сооружения каркасов здания, естественно, пропорциональна его размерам и практически отражает колебания себестоимости. Между продолжительностью возведения каждого объекта-представителя и фирмой производителем опалубки резерв составляет от 0,2% до 16,6%.

Объясняют причины значительно большей себестоимости работ с использованием опалубки, арендуемой по сравнению с приобретенной в собственность секторные диаграммы, пример которых для первого объекта-представителя сведен в таблицу 5.

Таблица 5 – Структура себестоимости по производителям опалубки, условиям ее использования на примере бетонирования каркаса первого здания

Объект	Doka	Peri	Ulma
ПОКУПКА			
АРЕНДА			
Условные обозначения			
	Стоимость эксплуатации строительных машин и механизмов, тыс. грн		
	Стоимость опалубки, тыс. грн		
	Зарботная плата, тыс. грн		
	Аренда опалубки, тыс. грн		
	Стоимость материальных ресурсов, тыс.грн.		

Как видно из приведенных секторных диаграмм, удельные затраты на опалубку оказались больше чем затраты на эксплуатацию машин и выплат по заработной плате, иногда даже вместе взятые, и достигают до 21% общей себестоимости. Причем расходы на арендуемую опалубку в среднем в два раза больше, чем на купленную или взятую в лизинг. Имея такие кратко проанализированы результаты, можно видеть существенные резервы экономии затрат и себестоимости в случае обоснованного принятия решений по использованию рациональных систем опалубки и условий их приобретения. Приведенная методология моделирования технологических процессов и их конечных технико-экономических показателей может с успехом использоваться и на других объектах с ожидаемым снижением себестоимости работ не менее чем на 5-7%, трудоемкости – 4-19% и сокращение продолжительности возведения каркасов – до 10-16%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тамразян, А.Г. Бетон и железобетон – взгляд в будущее [Текст] / А.Г. Тамразян // Вестник МГСУ. – М., 2014. – №4. – С. 181-189.
2. Yu Q.L., Spiesz P., Brouwers H.J.H. Design of Ultra-lightweight Concrete: towards Monolithic Concrete Structures [text] / Q.L. Yu // Вестник МГСУ. – М., 2014. – №4. – С. 98-106.
3. Ткач, Е.В. Высокоэффективные химические модификаторы для получения бетонов заданных свойств [Текст] / Е.В. Ткач, М.А. Рахимов, Г.М. Рахимова, В.С. Грибова // Вестник МГСУ. – М., 2012. – №3. – С. 126-130.
4. Шембаков, В.А Сборно-монолитное каркасное домостроение. Руководство к принятию решений [Текст] / В.А. Шембаков. – Чебоксары, 2005. – 119 с.
5. Парашенко, Н.А. Частично-ребристые сборно-монолитные перекрытия с ячеистобетонными блоками [Текст] // Н.А. Парашенко, А.С. Горшков, Н.И. Ватин // Инженерно-строительный журнал. – 2011. – №6 (24). – С. 50-55.
6. Зиневич, Л.В. Скоростное монолитное домостроение: условия достижения высоких темпов строительства и качества бетона получаемых конструкций [Текст] / Л.В. Зиневич, А.В. Галумян // Бетон и железобетон. – М., 2009. – №5. – С. 23-26.
7. ТРИО. Самая успешная рамная опалубка, требующая всего одну соединительную деталь [Текст]: каталог ПЕРИ / ООО ПЕРИ – М.: выпуск 3/2007. – 88 с.
8. Шаленный, В.Т. Повышение технологичности проектных решений монолитных и сборно-монолитных зданий и сооружений [Текст] / В.Т. Шаленный, Р.Б. Папирнык // Промышленное и гражданское строительство. – 2010. – №2. – С. 19-21.

9. Трембицкий, С.М. Условия достижения высоких темпов и качества строительства зданий из монолитного железобетона [Текст] / С.М.Трембицкий, Л.Н. Беккер, П.Г. Кебадзе // Бетон и железобетон. – 2008. – №5. – С. 8-11.
10. СНиП 3.03.01. Несущие и ограждающие конструкции [Текст] / Государственный строительный комитет СССР. – М., 1989. – 91 с.
11. ДБН Д.2.2-6-99. Ресурсные элементные сметные нормы на строительные работы. Сборник 6. Бетонные и железобетонные конструкции монолитные. [Текст] / Госстрой Украины. – Киев, 2000. – 69 с.
12. ГЭСН 81-02-06-2001 Сборник 6 Бетонные и железобетонные конструкции монолитные [Текст] / Рострой. – М., 2008. – 94 с.
13. ДСТУ Б Д.2.2 – 1:2008. Сборник 6. Сборка и разборка опалубки [Текст] / Минрегионстрой Украины – Киев, 2008 – 35 с.
14. Нормирование труда рабочих в строительстве [Текст] / ВНИПИ труда в строительстве Госстроя СССР. – М., Стройиздат, 1985. – 38 с.
15. Нормирование труда рабочих в строительстве [Текст]: монография / Е.Ф. Балова, Р.С. Бекерман, Е.Е. Евтушенко; ред. Е.Ф. Балова; Госстрой СССР, Всесоюз н.-и. и проект. ин-т труда в стр.-ве. – М.: Стройиздат, 1985. – 440 с.
16. Руководство по проектированию высокопроизводительных процессов строительного производства. Вып. 1. Основные положения [Текст]. – М.: Стройиздат, 1978. – 28 с.
17. Руководство по техническому нормированию труда рабочих в строительстве [Текст]. – М.: Стройиздат, 1977. – 34 с.
18. Нормативы на подготовительно-заключительную работу и отдых для применения при проектировании норм труда в строительстве [Текст] / ВНИПИ труда в строительстве. – М.: Прейскурант, 1988. – 19 с.
19. ДБН.Д. 1.1-2000. Государственные строительные нормы. Правила определения стоимости строительства [Текст]. – Киев: Госстрой Украины, 2000. – 136 с.

Шаленный Василий Тимофеевич

Крымская академия природоохранного и курортного строительства (КАПКС), г. Симферополь
Доктор технических наук, заведующий кафедрой «Технология и организация строительного производства»
E-mail: v_shalennyj@mail.ru

Капшук Ольга Анатольевна

Приднепровская академия строительства и архитектуры, г. Днепропетровск
Аспирант кафедры «Технология строительного производства»
E-mail: boal23@rambler.ru

V. SHALENNYY, O. KAPSHUK

**RESERVES REDUCTION EXPENDITURES OF LABOR
AND COST FOR MONOLITHIC CONSTRUCTIONS AT THE
EXPENSE OF USING RATIONAL SYSTEMS DISMOUNTABLE
FORMWORK**

The article describes the method and results of computer simulation to study the technical and economic performance in the construction of monolithic frame dismantlable formwork. Describes the most known system in Ukraine such formwork that can be used for concreting buildings under lease or buying the contracting organization. Proved by considerable differences obtained indicators of duration, unit cost and labor content of concrete work on considering options technologies. Suggesting that the reserves of their economy when choosing a rational system of formwork and conditions of its use on concrete object.

Keywords: *formwork, reserve, calculation, duration, production cost, technical and economic performance.*

BIBLIOGRAPHY

1. Tamrazjan, A.G. Beton i zhelezobeton – vzgljad v budushhee [Текст] / A.G. Tamrazjan // Vestnik MGSU. – М., 2014. – №4. – С. 181-189.
2. Yu Q.L., Spiesz P., Brouwers H.J.H. Design of Ultra-lightweight Concrete: towards Monolithic Concrete Structures [text] / Q.L. Yu // Vestnik MGSU. – М., 2014. – №4. – С. 98-106.

3. Tkach, E.V. Vysokoeffektivnye himicheskie modifikatory dlja poluchenija betonov zadannyh svojstv [Tekst] / E.V. Tkach, M.A. Rahimov, G.M. Rahimova, V.S. Gribova // Vestnik MGSU. – M., 2012. – №3. – S. 126-130.
4. Shembakov, V.A. Sbornno-monolitnoe karkasnoe domostroenie. Rukovodstvo k prinjatiju reshenij [Tekst] / V.A. Shembakov. – Cheboksary, 2005. – 119 s.
5. Parashhenko, N.A. Chastichno-rebristye sborno-monolitnye perekrytija s jacheistobetonnyimi blokami [Tekst] // N.A. Parashhenko, A.S. Gorshkov, N.I. Vatin // Inzhenerno-stroitel'nyj zhurnal. – 2011. – №6 (24). – S. 50-55.
6. Zinevich, L.V. Skorostnoe monolitnoe domostroenie: uslovija dostizhenija vysokih tempov stroitel'stva i kachestva betona poluchaemyh konstrukcij [Tekst] / L.V. Zinevich, A.B. Galumjan // Beton i zhelezobeton. – M., 2009. – №5. – S. 23-26.
7. TRIO. Samaja uspehnaja ramnaja opalubka, trebujushhaja vsego odnu soedinitel'nuju detal' [Tekst]: katalog PERI / OOO PERI – M.: vypusk 3/2007. – 88 s.
8. Shalennyj, V.T. Povyshenie tehnologichnosti proektnih reshenij monolitnyh i sborno-monolitnyh zdaniy i sooruzhenij [Tekst] / V.T. Shalennyj, R.B. Papirnyk // Promyshlennoe i grazhdanskoe stroitel'stvo. – 2010. – №2. – S. 19-21.
9. Trembickij, S.M. Uslovija dostizhenija vysokih tempov i kachestva stroitel'stva zdaniy iz monolitnogo zhelezobetona [Tekst] / S.M. Trembickij, L.N. Bekker, P.G. Keadze // Beton i zhelezobeton. – 2008. – №5. – S. 8-11.
10. SNiP 3.03.01. Nesushhie i ogradhdajushhie konstrukcii [Tekst] / Gosudarstvennyj stroitel'nyj komitet SSSR. – M., 1989. – 91 s.
11. DBN D.2.2-6-99. Resursnye jelementnye smetnye normy na stroitel'nye raboty. Sbornik 6. Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii monolitnye. [Tekst] / Gosstroj Ukrainy. – Kiev, 2000. – 69 s.
12. GJeSN 81-02-06-2001 Sbornik 6 Betonnye i zhelezobetonnye konstrukcii monolitnye [Tekst] / Rosstroj. – M., 2008. – 94 s.
13. DSTU B D.2.2 – 1:2008. Sbornik 6. Sboraka i razboraka opalubki [Tekst] / Minregionstroj Ukrainy – Kiev, 2008 – 35 s.
14. Normirovanie truda rabochih v stroitel'stve [Tekst] / VNIPI truda v stroitel'stve Gosstroja SSSR. – M., Strojizdat, 1985. – 38 s.
15. Normirovanie truda rabochih v stroitel'stve [Tekst]: monografija / E.F. Balova, R.S. Bekerman, E.E. Evtushenko; red. E.F. Balova; Gosstroj SSSR, Vsesojuz n.-i. i proekt. in-t truda v str-ve. – M.: Strojizdat, 1985. – 440 s.
16. Rukovodstvo po proektirovaniju vysokoproizvoditel'nyh processov stroitel'nogo proizvodstva. Vyp. 1. Osnovnye polozhenija [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1978. – 28 s.
17. Rukovodstvo po tehničeskomu normirovaniju truda rabochih v stroitel'stve [Tekst]. – M.: Strojizdat, 1977. – 34 s.
18. Normativy na podgotovitel'no-zakljuchitel'nuju rabotu i otdyh dlja primenenija pri proektirovanii norm truda v stroitel'stve [Tekst] / VNIPI truda v stroitel'stve. – M.: Prejskurant, 1988. – 19 s.
19. DBN.D. 1.1-2000. Gosudarstvennye stroitel'nye normy. Pravila opredelenija stoimosti stroitel'stva [Tekst]. – Kiev: Gosstroj Ukrainy, 2000. – 136 s.

V. Shalennyj

Krymskaya academy of environmental protection and resort development, Simferopol

Doctor of technical sciences, head of the department «Technology and building organization of production»

E-mail: v_shalennyj@mail.ru

O. Kapshuk

Pridneprovskaya academy of civil engineering and architecture, Dnepropetrovsk

Graduate student of the department «Construction technologies»

E-mail: boal23@rambler.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 вверху – 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

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

Подписано в печать 17.09.2014 г.

Формат 70×108 1/16. Печ. л. 8,0.

Тираж 400 экз.

Заказ № _____

Отпечатано с готового оригинал-макета на полиграфической
базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет – УНПК»
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.