

СЕКЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Студентка 3 курса 4 группы ИГЭС Алтунина Е. О.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук Б. К. Джамуев

ПРЕИМУЩЕСТВО СВАЙНОГО ФУНДАМЕНТА ДЛЯ СЕЙСМООПАСНЫХ РАЙОНОВ

В настоящее время возрастают объёмы строительства в неблагоприятных условиях для возведения сооружений, например, в условиях сейсмического воздействия, вследствие чего повышается актуальность решения вопроса об обеспечении сейсмостойкости оснований и фундаментов сооружений [9].

Свайные фундаменты в качестве конструктивного решения встречаются редко. Это обосновывается тем, что на данный момент имеется недостаточно сведений о работе такого типа фундамента конкретно в условиях сейсмической нагрузки.

Тем не менее можно выделить ряд преимуществ использования свайного фундамента в сейсмоопасных районах. Помимо статистики, есть целый ряд факторов, позволяющий отдать предпочтение выбора конструкции, содержащей в себе полые железобетонные сваи.

Что именно может натолкнуть проектировщика на использование данной модели? Как минимум анализ данных, проведённых после крупнейших землетрясений, и не только на территории России, но и в мире. Например, исследования после землетрясения в Ниигате показали [1,2], что разрушение свайных фундаментов и зданий на них происходило реже почти в 1,5 раза, чем других типов фундаментов (в частности, проводилось сравнение с характером разрушением зданий на фундаментах мелкого заложения).

Железобетонные здания имеют сдвиговой характер разрушения, сваи в месте заделке в ростверк срезаются от сейсмической нагрузки. Усиление свай в таком случае возможно произвести стальными обоймами [11].

При проектировании фундаментов в условиях динамического воздействия важно учитывать негативное влияние колебаний грунта, передающихся на сооружение через конструкции фундаментов, а на конструкцию фундаментов через основание.

Для обеспечения устойчивости системы «сооружение – основание» расчёт по СП 24.13330.2016 ведётся с учётом сейсмических воздействий. Расчёт по несущей способности сваи по грунту производится с учётом особого сочетания нагрузок и воздействий. В остальном область применения вышеуказанного типа фундамента схожа с областью применения в несейсмических районах.

Основной проблемой при решении вопросов обеспечения устойчивости основания является разжижение грунтов из-за того, что колебания частиц грунта происходят с разными скоростями. Это

приводит к разрыву контактов между частицами, в результате грунт переходит в текучее состояние [3].

Чтобы устранить данную проблему необходимо закрепить грунт. Для этого в первую очередь выполнить бурение скважины, в которую, в зависимости от выбранного способа, через инъекторы подаётся химический раствор (при химическом закреплении), либо сжигается топливо (при термическом закреплении).

Исходя хотя бы из процесса закрепления грунтов, рекомендуется отдавать предпочтение сваям-оболчкам – во-первых, уже будет устроена лидерная скважина, а во-вторых, при погружении появляется возможность внутрь полости набить почву для повышения устойчивости фундамента.

В устойчивых (маловлажных) и структурно-неустойчивых грунтах возможно использование набивных свай, при условии, что процент армирования принят равным не менее 0,05. На основании раздела 12.9 СП 24.13330.2011 не допускается применение свай, не имеющих арматурных каркасов по всей длине свайного ствола.

Свайный фундамент представляет собой совокупность вертикальных опор (свай), связанных ростверком. Из чего следует, что изучая задачу проектирования вышеуказанного типа фундамента, важно рассмотреть вопрос устройства ростверка.

Лабораторные исследования [7,8] показали, что наиболее эффективным способом увеличения несущей способности ростверка является продольное армирование – возможно увеличение концентрации рабочей арматуры над опорами или армирование по диагонали. Такие методы позволяют повысить в 1,5 раза разрушающую силу по сравнению со способом армирования сеткой.

Вывод Устройство свайного фундамента в условиях сейсмического воздействия, включающий в свою конструкцию набивные сваи, позволяет сконструировать сооружение с наименьшей вероятностью разрушения при сейсмичности площадки строительства от 7 до 9 баллов, что является весомым показателем при выборе устройства фундамента. Также такое конструктивное решение позволяет одновременно закрепить грунты основания, что немаловажно, как вопрос устройства каркаса здания и его фундамента [11-15].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ohsaki Y.* Niigata earthquakes, 1964, Building damage and soil condition
2. *Ishihara K., Koga Y.* Case studies of liquefaction in the 1964 Niigata earthquake. Soil and foundations. vol.21, No.3, Sept.1981

3. *Вознесенский Е. А. Кушнарева Е. С.* Сейсмическая разжижаемость грунтов: инженерная оценка и классифицирование. Инженерная геология 2012 / №4

4. *Поляков С. В.* Последствия сильных землетрясений. – М., 1978. – 311 с. 24

5. *Поляков С. В.* Сейсмостойкие конструкции зданий. (Основы теории сейсмостойкости). – М., 1983. – 304 с.

6. *Нуриева Д. М.* Численные исследования работы свай и свайных фундаментов в условиях нагрузок типа сейсмических. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2014 №4 (30).

7. *Скачков Ю. П., Мищенко В. Н., Снежкина О. В.* Определение эффективных схем армирования ростверков свайных фундаментов. Региональная архитектура и строительство. 2016. № 4 (29). С. 77-82.

8. *Кочеткова М. В.* Трещинообразование и схемы разрушения ростверков под колонну с многорядным расположением свай. Региональная архитектура и строительство. 2019. № 1 (38). С. 112-118.

9. *Шошиташивили Н. Г.* Фундаменты в условиях сейсмических и динамических воздействий // Международный студенческий научный вестник. – 2018. – № 4-7

10. *М. И. Горбунов-Посадов, В. А. Ильичев, В. И. Крутов и др.;* Под общ. ред. Е. А. Сорочана и Ю. Г. Трофименкова. Основания, фундаменты и подземные сооружения. – М.: Стройиздат, 1985. – 480 с., ил.

11. *Столяров В. Г.* Остаточные сейсмические смещения грунта, горизонтальные воздействия на здание, сейсмостойкие свайные фундаменты // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки. 2006. №3. С.70-74.

12. *Tamrazyan A.* Reduce the impact of dynamic strength of concrete under fire conditions on bearing capacity of reinforced concrete columns. Applied Mechanics and Materials. 2014. Т. 475-476. С. 1563-1566.

13. *Тамразян А.Г., Звонов Ю.Н.* К оценке надежности железобетонных плоских безбалочных плит перекрытий на продавливание при действии сосредоточенной силы в условиях высоких температур. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 24-28.

14. *Дудина И.В., Тамразян А.Г.* Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8-10.

15. *Тамразян А.Г.* К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.

16. *Тамразян А.Г.* Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий. Жилищное строительство. 2005. № 1. С. 7.

Студентка 3 курса 4 группы ИГЭС Бех О.Г.

Студентка 3 курса 4 группы ИГЭС Быкова В. А.

Научный руководитель – доц., канд.техн. наук Б.К. Джамуев

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ АКВЕДУКОВ

Акведук — это водопроводящее сооружение, обеспечивающие движение русла по каналам, оврагам, долинам и другим препятствиям.

Составными элементами конструкции любого акведука являются лоток, промежуточные береговые опоры, несущие конструкции, которые выполняют поддерживающие функции. По способу возведения данные сооружения бывают монолитными, сборными и сборно-монолитными. В сейсмоопасных районах предпочитают акведуки с монолитными лотками. Остальные конструкции выполняются чаще из сборного железобетона.

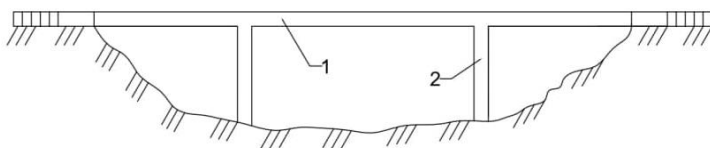


Рис. 1. Балочная конструкция акведука: 1) Лоток; 2) Промежуточные опоры

Отмечая разнообразие и особенности конструктивных решений железобетонных акведуков, также стоит обратиться к их возможным видам схем. Выбор схемы обусловлен видом препятствия, расходом воды в канале, грунтовыми условиями. От данных факторов зависит конструкция акведука: арочная, рамная или балочная (рисунок 1). Арочные применяются в глубоких и нешироких оврагах с прочными склонами, а при широких препятствиях – балочные и рамные.

Балочным эстакадного типа с открытыми лотками отдается приоритет при строительстве акведуков в сейсмических районах. Они имеют свайные опоры, малые и средние пролеты, пролетные строения разные, сборные и железобетонные.

Необходимость расчета на сейсмостойкость акведуков определяется по балльности землетрясений и классу гидротехнического сооружения. Для всех деревянных акведуков IV класса сооружения, для железобетонных акведуков с удельным расходом менее $3 \text{ м}^3/\text{с}$ IV класса сооружения и с расходом более $3 \text{ м}^3/\text{с}$ III класса с балльностью землетрясений не выше VI, расчет на сейсмостойкость не требуется.

Расчет на сейсмостойкость лотка включает в себя 3 этапа:

- 1) Расчет сейсмических сил инерции

$$P = kQ,$$

где: P – инерционная сейсмическая сила в м; Q – вес элементов, для которых вычисляется сила инерции, в м; k – коэффициент сейсмичности, зависящий от района: VII баллов – 0,025, VIII – 0,05, IX – 0,1.

Горизонтальная составляющая P прикладывается в центр тяжести каждого элемента конструкции, в этом и заключается учет сейсмических сил инерции.

2) Учет воды в поперечном сечении

$$P = kQ',$$

где:

$$Q' = \frac{16H^2 \cdot \gamma_0}{\pi^3} \left(tg h \frac{\pi B}{4H} + \frac{1}{3^3} tg h \frac{3\pi B}{4H} + \frac{1}{5^3} tg h \frac{5\pi B}{4H} + \dots \right),$$

где: H – глубина воды в лотке; B – ширина лотка; γ_0 – объем вес воды.

Q' – вес массы воды, которая приходится на единицу длины каждой стенки лотка, совершающий колебания слитно со стенкой и вызывающая добавочное давление на нее.

Сумма S , заключенная в формуле в скобке зависит от соотношения $\frac{B}{H}$ и принимает значения от 0 до 1,0515.

3) Учет воды в продольном направлении заключается во влиянии образующегося волнового движения. Волны могут служить причиной дополнительных горизонтальных сдвигов конструкции акведука. Соответственно при увеличении балла сейсмичности необходимо увеличивать процент учёта в расчетах от общей массы воды. Например, для района VII балльной зоны – 25% от массы все воды.

При проектировании акведуков в сейсмических районах также необходимо проводить дополнительный расчет опор.

На конструкцию промежуточных опор железобетонных акведуков влияют следующие факторы: вид препятствия, конструкция лотка, грунт.

При ширине лотка менее 2 м и высоты менее 1,5 м выбирают одиночные опоры в виде двух консольных стоек. Если лоток имеет размеры больше вышеуказанных, то опоры проектируют в виде рам. В зависимости от высоты лотка над землей производят увеличение количества ярусов в опорах.

Дополнительный расчет заключается в проверке динамической жесткости, характеризуемой периодом собственных колебаний. Их период не должен превышать: в районе VI баллов – 1,00 сек, VIII и IX – 0,75 сек.

Величина периода определяется по формуле:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{M}{y}},$$

где: M – некоторая масса, приходящаяся на верхушки колонн и состоящая из полной массы лотка 25-30% массы колонны; y – прогиб от единичной горизонтальной силы верхушек опор при одновременной работе, учитывая упругость основания.

Верхний ригель рамы рассматривается как абсолютно жесткий. Единичная сила приложена к верхушкам. Их смещение не должно превышать 5-10 % общего смещения (прогиб стоек, смещение от поворота фундамента) при определении размеров фундамента. Это обосновывается на необходимости достаточного заземления фундамента и массивности фундаментов при слабом основании.

Таким образом, можно прийти к выводу, что акведуки довольно сложное гидротехническое сооружение. На данный момент в России он почти не используется, в других же странах, с дефицитом водных запасов, акведуки порой являются единственным решением. Поэтому иногда это сооружение приходится проектировать в сложных условиях, например, сейсмически опасных, с использованием дополнительных расчетов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гейликман И. П., Гордин Н.М.* Атлас типовых проектов гидротехнических сооружений на ирригационной сети. Выпуск II. Сооружения на пересечениях (дюкеры, акведуки). Л: Министерство Земледелия Союза ССР. Главводхоз, 1946. 128 с.

2. *Косиченко, Ю. М., Лобанов Г. Л.* Современное состояние водопропускных гидротехнических сооружений донского магистрального канала. Н: ФГБНУ «РосНИИПМ», 2014. 49 с.

3. *Калачук Т.Г., Колмыкова И.В., Шин Е.Р.* Оценка сейсмичности сил инерции по фактическим повреждениям мостов. Б: Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова., 2019.

4. *Васильев П.И., Кононов Ю. И.* Железобетонные конструкции гидротехнических сооружений. К: Высшая школа, 1982. 321 с.

5. *Chen Y., Huang J., Zhang W., Li Y.* Simplified calculation method for transverse seismic response of aqueducts considering fluid-structure interaction. Journal of Vibroengineering, Vol. 19, Issue 8, 2017, p. 6135-6151.

6. *Магамедова Г. С., Кулигина Е. С.,* Технология строительства мостов. Н: Технический институт (филиал) Северо-Восточного федерального университета имени М.К. Аммосова в г. Нерюнгри // Молодой учёный. Международный научный журнал № 11 (145) / 2017

7. *Ставницер Л. Р.* Сейсмостойкость оснований и фундаментов: монография. М: Издательство Ассоциации строительных вузов (АСВ), 2010. 448 с.

8. *Дудина И.В., Тамразян А.Г.* Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8-10.

9. *Тамразян А.Г., Дудина И.В.* Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16-17.

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ УСИЛЕНИЯ КЛАДКИ ИЗ ЯЧЕИСТОБЕТОННЫХ БЛОКОВ

Ячеистые бетоны – строительный материал, представляющий собой отвердевшую смесь вяжущего и кремнеземистого компонента и искусственных равномерно распределенных опор в виде ячеек, образованных газо- либо пенообразователями. [3]

На сегодняшний момент необходимость усиления кладки из ячеистобетонных блоков обоснована реконструкцией зданий и восстановлением несущей способности конструкции. Существует множество различных способов усиления, например, таких, как: устройство разгружающих конструкций, наращивание железобетона, дополнительные жесткие или упругие опоры, включение предварительно-напряженной добавочной арматуры. [2]

Полимербетон - вид ячеистых бетонов, обширно использующийся с целью ремонта и усиления конструкций из железобетона, особенно при агрессивных внешних условиях. Это подтверждает их сравнительно высокую прочность, небольшую проницаемость, износостойкость и стойкость воздействию многих химических факторов.

К недостаткам полимербетонных композиционных материалов можно причислить низкую огнестойкость; изменение свойств при воздействии ультрафиолетового излучения; возможное образование трещин при изменении объема в условиях ограничения свободы деформаций. Полимербетоны восприимчивы к температурным колебаниям. При значительных температурах они развивают существенные деформации ползучести. [4, 6, 8].

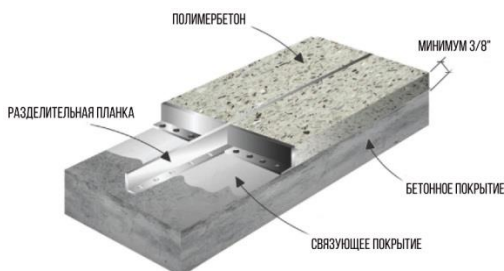


Рис.1. Схема полимербетонной кладки.

Газобетонные блоки – это еще одни представители ячеистых бетонов. На сегодняшний день, их широкое применение в строительстве связано с огромным рядом преимуществ: если в ходе строительства не

допущено технических ошибок, то кладка из газобетона обладает долговечностью и может прослужить более 100 лет. Также такие конструкции обладают высокой прочностью, огнестойкостью, морозостойкостью, звукоизоляционными характеристиками и водопоглощением.

Конечно, у данного материала есть и свои недостатки, такие как: невысокая прочность на сжатие и изгиб, появление трещин при усадке фундамента, высокий уровень влагопоглощения.



Рис.2. Структура газобетона.

Для укрепления ячеистых бетонов используется армирование конструкций углепластиком. Усиление углепластиком причисляют к внешнему армированию, поскольку материалы закрепляются на конструкции с помощью эпоксидного клея. Основными преимуществами нестандартного способа армирования конструкций являются: увеличение несущей способности строительных конструкций до 70%, небольшой вес углеродных материалов, возможность внесения коррективов при проектировании и строительстве, усиление конструкции различной формы и геометрии, сохранение исходных габаритов усиливаемой конструкции, высокая коррозионная стойкость, долговечность, легкость в использовании, потому что для производства работ не требуется никаких дополнительных приспособлений. Также внешнее армирование не искажает эстетический вид конструкции, а процесс укрепления становится существенно проще, чем при стандартной технологии [6]. При проектировании конструкций с применением усиления углеволокном необходимо руководствоваться Сводом правил СП 164.1325800.2014 "Усиление железобетонных конструкций композитными материалами. Правила проектирования".

Минусом армирования углеволокном является огромная вероятность излома, например, при таких обстоятельствах как: точечный удар молота, работа на сжатие. Также к недостаткам можно отнести сложность реставрации при сколах, трудоемкость утилизации и повторного использования.

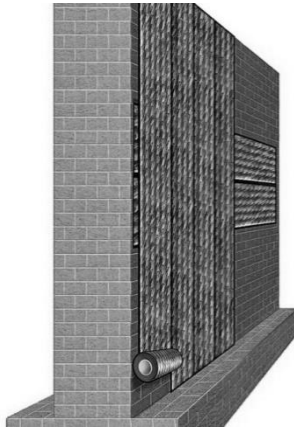


Рис.3. Усиление кладки углеволокном.

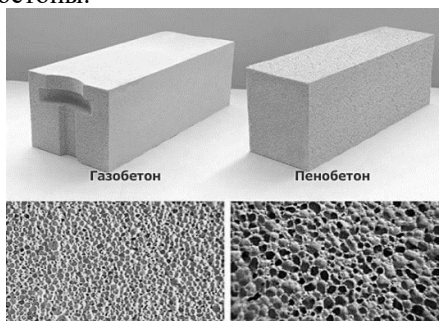
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Микульский В.Г., Козлов В.В.* Склеивание бетона. 1975 г.
2. *Хило Е.Р., Попович Б.С.* Усиление железобетонных конструкций с изменением расчетной схемы и напряженного состояния. 1976 г.
3. *Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.В.* Внешнее армирование железобетонных конструкций композиционными материалами. 2007 г.
4. *Грановский А.В., Джамуев Б.К.* Повышение прочности стен из ячеисто-бетонных блоков. 2011 г.
5. *В.Н. Стукач, И.В. Шаратов* Современные способы усиления несущих конструкций зданий и сооружений при реконструкции как инструмент ресурсосбережения / Приволжский научный вестник, 2016 г.
6. *Дудина И.В., Тамразян А.Г.* Обеспечение качества сборных железобетонных конструкций на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 3. С. 8-10.
7. *Тамразян А.Г., Дудина И.В.* Влияние изменчивости контролируемых параметров на надежность преднапряженных балок на стадии изготовления. Жилищное строительство. 2001. № 1. С. 16-17.
8. *Тамразян А.Г.* Ресурс живучести - основной критерий проектных решений высотных зданий. Жилищное строительство. 2010. № 1. С. 15-18.

ТЕХНОЛОГИЯ ПРИМЕНЕНИЯ ЯЧЕИСТЫХ БЕТОННЫХ БЛОКОВ ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ СТЕН ПОДВАЛА. МИРОВОЙ ОПЫТ

Получение и применение экономически выгодных и наиболее эффективных материалов является важным свойством научно-технического развития строительного производства. С увеличением количества требований к теплозащитным свойствам ограждающих конструкций зданий жилого и общественного назначения для возведения стен начали применять ячеистые бетоны.

Ячеистый бетон включает в себя группу материалов, главным отличием которых является наличие в их структуре равномерно расположенных ячеек. Существует три основных вида ячеистых бетонов – газобетон, пенобетон и газосиликат.



Автоклавный газобетон – это искусственный камень с пористой структурой, для образования которой к основе из цемента, извести и песка добавляют алюминиевую пудру, провоцирующую активное газообразование. После застывания и сушки в автоклаве получаются легкие и прочные блоки с высокими теплоизоляционными характеристиками [1].

В настоящее время существует формальный запрет на применение газобетона и большинства материалов каменной кладки для наружных стен, располагающихся ниже уровня грунта. Этот запрет прописан в СП «Каменные и армокаменные конструкции».

Удешевление, не снижая качества постройки привело к применению каменной кладки для возведения стен подвала. В связи с изменением целей, задач и способов тепловой защиты, как правило, стали применять снаружи каменной кладки стен подвалов теплоизоляционные материалы. Таким образом решаются следующие задачи: предохранение грунта от промерзания и снижение утечки тепла из здания.

Заглубляемые, либо примыкающие к отмостке сверху наружные стены теплоизолируют. В конечном итоге режим эксплуатации каменной кладки в теплоизолированных условиях становится таким же, как был бы во внутренних стенах подвала. Кладка становится не замораживающейся. Если здание постоянно отапливаемое, то кладка наружных стен подвалов становится постоянно эксплуатирующаяся в

зоне с положительными температурами, соответственно, ее ресурс морозостойкости не расходуется и долговечность не востребуется, т.е. не происходит старение материала. Основной и единственный механизм старения каменной кладки – исчерпание ресурса морозостойкости камней. Постепенное замораживание и оттаивание водонасыщенного материала приводит к снижению его прочности.

В конце 80-90-х годов появились рулонные гидроизоляционные материалы на основе модифицированных битумов, которые без доступа УФ-лучей практически не стареют. Современные наплавляемые кровельные битумные материалы позволяют надежно гидроизолировать каменную кладку, находящуюся ниже уровня грунта, и эксплуатироваться десятилетиями.

Две основные предпосылки – массовое распространение утепления наружных стен подвалов и надежная гидроизоляция – позволили в последние годы заново достаточно широко использовать каменную кладку, которая формально не удовлетворяет СП "Каменные и армокаменные конструкции".

Чтобы каменная кладка безопасно эксплуатировалась ниже уровня отмостки, необходимо верхнюю поверхность фундаментной ленты загидроизолировать. На слой гидроизоляции поставить газобетонную кладку, поднять ее выше уровня будущей планировочной отмостки.

Ячеистые блоки с открытыми порами обладают высокой гигроскопичностью. Чтобы сохранить это свойство, необходимо использовать специальную грунтовку и штукатурку, рассчитанную на работы по газобетону.

Стены подвала должны иметь горизонтальную и вертикальную гидроизоляцию, предохраняющую материалы конструкций, а также расположенных выше частей здания от грунтовых, талых вод. Применяется наплавляемая гидроизоляция, снаружи защищенная профилированной мембраной, целью которой является предотвращение повреждения гидроизоляции при обратной засыпке. Горизонтальная гидроизоляция должна быть устроена по верхнему обрезу стен подвала, а также по верхнему обрезу конструкций фундаментов и под полом подвала. В качестве защиты от увлажнения европейские нормативы рекомендуют использовать гидроизоляционные штукатурные составы.

При необходимости утепления стен подвала или цоколя, теплоизоляционный материал рекомендуется проектировать с наружной

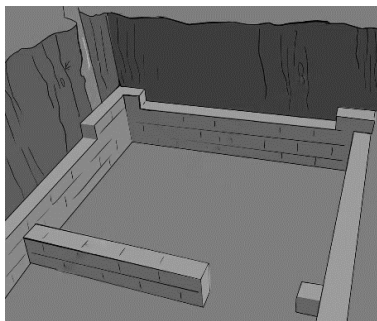


Рис. 2. Вид кладки подвала из ячеистых бетонов

стороны. В таком случае применяют материалы с низким водопоглощением (к примеру, экструдированный пенополистирол, пеностекло). Для отвода атмосферных осадков и талых вод по периметру постройки следует устроить отмостку шириной не менее 1 м и уклоном не менее 0,05 мм/м.

Газобетон с завода на стройплощадку приходит с повышенной влажностью. Прежде чем он начнет нормально эксплуатироваться, и его эксплуатационная влажность и теплопроводность снизится до нормальных расчетных значений, ему нужно высохнуть. Сначала необходимо поднять ленту, возвести и загидроизолировать кладку подземных стен, провести кладку надземных этажей, затем внутри выполнить засыпку песком, трамбовку и устройство полов по грунту для теплоизоляции.

Стадия между кладкой стен подвала и устройством полов по грунту занимает как минимум 1,5 месяца. За этот срок влажность газобетонных блоков снизится до 20-25%. Предполагается, что дальнейшее высыхание будет происходить в толще песка в течение нескольких лет [2-7].

Позволяется сделать следующий вывод, который пока отсутствует в нормативных документах: песчаная засыпка выше фундаментной ленты в случае, если строительство ведется на грунтах, где грунтовые воды находятся глубоко или являются сезонными, и засыпка в уровне фундаментной стены выполнена материалами с нулевым капиллярным подсосом, способствует высыханию конструкции.

Таким образом, поскольку использование ячеистых бетонов для возведения стен подвалов противоречит требованиям СП «Каменные и армокаменные конструкции», поэтому необходимо устранить факторы риска, которые привели к нормативному запрету.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Титов Б.А.* Ячеистый бетон для индивидуального строительства // Современные научные исследования и инновации – 2018. №1.
2. СП 15.13330.2020 Каменные и армокаменные конструкции.
3. *Грановский А.В., Джамуев Б.К.* Повышение прочности стен из ячеисто-бетонных блоков – 2011.
4. В.Г. Евстифеев. Железобетонные и каменные конструкции. В 2 частях. Часть 1. Железобетонные конструкции. – М.: Академия, 2011. – 430 с.
5. *Das Baubuch.* Энциклопедия строительства – 2017-2018.
6. *Шаронина Е.В.* Строительство из газобетонных блоков – 2020.
7. *Тамразян А.Г., Филимонова Е.А.* Метод поиска резерва несущей способности железобетонных плит перекрытий. Промышленное и гражданское строительство. 2011. № 3. С. 23-25.

Студент 3 курса 1 группы ИГЭС Дмитриенко А.А., студент 3 курса 1 группы ИГЭС Кравченко А.А.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук А.Д. Истомин

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЁТА ПЛИТ КЖС, ИЗГОТОВЛЕННЫХ НА ОСНОВЕ ТЯЖЕЛОГО БЕТОНА И ФИБРОБЕТОНА.

Известные с середины пятидесятых годов прошлого столетия панели-оболочки КЖС (крупноразмерная железобетонная сводчатая) (рис.1) получили обширное использование в сфере строительства, исходя из своих характеристик. КЖС плита экономична из-за геометрических показателей свода-оболочки. Ось собственно оболочки очерчена по квадратной параболе, располагающейся несколько ниже кривой давления при всех видах нагружения.

Конструктор панелей-оболочек КЖС Мацелинский Р.Н. предусматривал их использование в составе комбинированных конструкций для покрытия одноэтажных зданий.

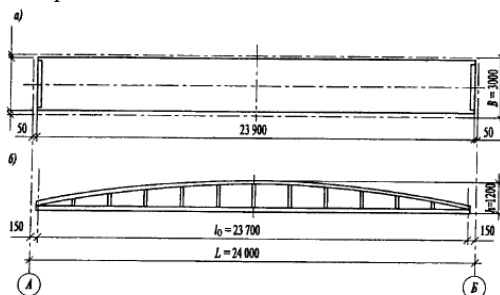


Рис.1. Панель-оболочка КЖС: а) план; б) вид сбоку

Сравнительный анализ выполнялся на основе результатов расчёта КЖС плит, в основе которых использовались тяжелый бетон и фибробетон. Основные преимущества фибробетона над традиционным бетоном заключаются в высокой водонепроницаемости, высокой прочности при растяжении и хрупкости разрушения. Также необходимо учесть технические преимущества фибробетона над традиционным бетоном такие как повышенная трещиностойкость, вязкость разрушения, морозостойкость, возможность использования более эффективных конструктивных решений, снижение трудозатрат на арматурные работы, повышение степени механизации и автоматизации производства железобетонных конструкций, ударная прочность, износостойкость, пониженная усадка и ползучесть [1-7].

Расчёт крупноразмерной железобетонной сводчатой панели-оболочки ведут как короткий цилиндрический пологий предварительно

напряженный свод-оболочка с двумя ребрами-диафрагмами сегментного очертания (рис.1). Сравнительный анализ выполняют с учетом изменения геометрической формы конструкции в процессе нагружения, как цилиндрического свода, работающего совместно с деформирующимися диафрагмами.

При расчёте плиты КЖС использовались следующие габаритные характеристики: размеры панели $B \times L = 3 \times 24$ м, Высота пролета панели по середине пролета $h = 1400$ мм, стрела подъема оболочки $Z = 133$ см = 1,33 м и вес оболочки $G = 13$ т.

Расчёты проводились по несущей способности и общей устойчивости (первая группа предельных состояний) и по деформациям (вторая группа предельных состояний). Стоит отметить этапы расчёта:

1. Площадь продольной арматуры

$$A_s = \frac{M_0}{z_0 \cdot \gamma_{s6} \cdot R_s} \quad (1)$$

2. Требуемая толщина свода в центре оболочки из условия прочности определяется по формуле

$$h_{4-5} = \frac{M_0}{0,75 \cdot Z \cdot b_f \cdot \gamma_{b2} \cdot R_b} \quad (2)$$

3. Толщина оболочки исходя из расчета на условные критические напряжения сжатия

$$h_{4-5} = 0,8 \cdot l_n \sqrt{\frac{M_{ser} \cdot y_0}{E_b \cdot I_{red}}} \quad (3)$$

Полученная толщина 30 мм оболочки удовлетворяет условиям прочности и устойчивости. Расчет по деформациям (вторая группа ПС).

Результаты расчётов приведены в табл.2

Таблица 2

Характеристики	δ , мм	M_u , кНМ	Полные потери, МПа	M_{cre} , кНМ	f , мм
Бетон В35	30	1413,4	260	1060	70
Относительный параметр, %	100	100	100	100	100
Фибробетон на основе Бетона В35	30	1413,4	220	1431	58
Относительный параметр, %	100	100	85	135	83

Для проведения анализа был построен рис.2 - относительных основных расчетных параметров панели оболочки КЖС.

Заключение

Результаты расчетов панели оболочки КЖС показали, что фиброжелезобетонная конструкция имеет большой момент

трещинообразования (на 35%) и меньший прогиб (на 17%) по сравнению к железобетонной конструкции.

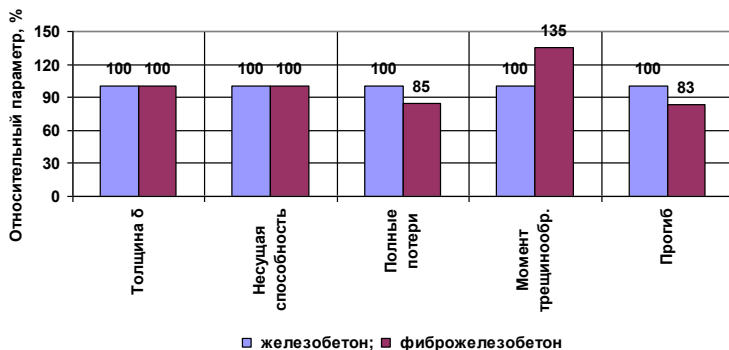


Рис.2. Относительные основные расчетные параметры панели оболочки КЖС

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубарева А.С.* Фибробетонные конструкции для освоения подземного пространства // Современные строительные материалы, технологии и конструкции.–Грозный: ФГУП «Издательско-полиграф. комплекс «Грозненский рабочий». 2015, т. 2. с. 329-336.
2. Стандарт организации СТО НОСТРОЙ. Освоение подземного пространства. Конструкции транспортных тоннелей из фибробетона. Правила проектирования и производства работ. М., 2013. 205 с.
3. *Уткин Д.Г.* Прочность изгибаемых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры// Строительство и реконструкция. 2021. №1. С. 85-95.
4. *Истомин А.Д.* Влажностные деформации гидротехнических конструкций из модифицированного фибробетона // Вестник МГСУ. 2010, № 4, Т. 2. с. 21-24.
5. *Александров Е.Н., Истомин А.Д.* Анализ напряженно деформированного состояния изгибаемых элементов с комбинированным армированием на основе диаграмм деформирования фибробетона // Научное обозрение. 2016, № 4. с. 35-39.
6. *Тамразян А.Г.* Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий.Жилищное строительство. 2005. № 1. С. 7.
7. *Тамразян А.Г.* Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 181-189.

ВЛИЯНИЕ ЦИКЛИЧЕСКОГО ЗАМОРАЖИВАНИЯ-ОТТАИВАНИЯ НА НАПРЯЖЕНИЯ В АРМАТУРЕ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

По результатам опытов, направленных на обнаружение степень влияния циклического замораживания и оттаивания на работу бетона и железобетона, было выяснено, что в бетоне при воздействии отрицательных температур происходит рост остаточных деформаций в виде деструктивного расширения бетона из-за увеличения объема воды в его порах и капиллярах при ее замерзании.

Исследование, приведенное в данной работе, направлено на оценку напряжений в арматуре железобетонных элементов, возникающих из-за остаточных деформаций бетона при циклических замораживаниях и оттаиваниях.

Уровни напряжений в арматуре определялись для балки с расчетным пролетом 2 м, прямоугольного поперечного сечения размером 100 х 200 мм. Балка была армирована в растянутой зоне двумя стержнями арматуры диаметром 12 мм класса А400 ($R_s = 433$ МПа). Опытные данные характеристик бетона: $R_b = 30,8$ МПа, $E_b = 28,03 \cdot 10^3$ МПа, $R_{bt} = 2,6$ МПа. Расчетная схема и поперечное сечение рассчитываемой балки показаны на рис.1.

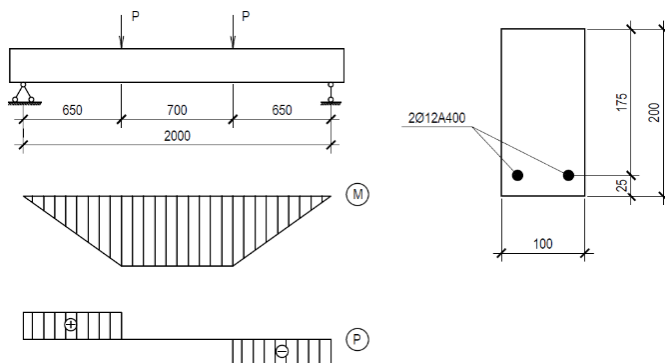


Рис.1. Расчетная схема и поперечное сечение рассчитываемой балки

Увеличение напряжений из-за деструктивных деформаций расширения бетона железобетонных балок и суммарные напряжения определялись для двух уровней нагружения $0,3M_{ult}$ и $0,6M_{ult}$. В табл.1 представлены приращения напряжений из-за деструктивных деформаций расширения бетона железобетонных балок и суммарные напряжения по результатам проведенных экспериментов и проведенных

Опытные и расчетные напряжения в арматуре железобетонных балок

Напряжения в арматуре	Уровень нагружения			
	$M/M_{ult} = 0,3$		$M/M_{ult} = 0,6$	
	Опыт	Расчет	Опыт	Расчет
$\Delta\sigma_{st}$, МПа	124	136	150	192
$\frac{\Delta\sigma_{st}}{R_s}$	0,29	0,31	0,39	0,44
$\sigma_s = \sigma_{sp} + \sigma_{st}$	249	269	389	433*
$\frac{\sigma_s}{R_s}$	0,57	0,62	0,93	1,0

(* - достижение опытного значения предела текучести.)

На рис. 2 и 3 соответственно представлены расчетные и опытные значения приращений относительных напряжений в арматуре ($\Delta\sigma_{st}/R_s$), расчетные и опытные значения суммарных относительных напряжений в арматуре (σ_s/R_s) и в зависимости от уровня нагружения.

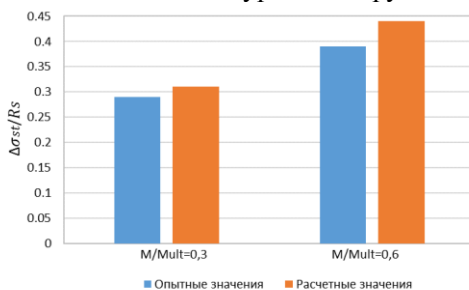


Рис. 2. Значения опытных и расчетных значений $\Delta\sigma_{st}/R_s$ в зависимости от уровня нагружения.

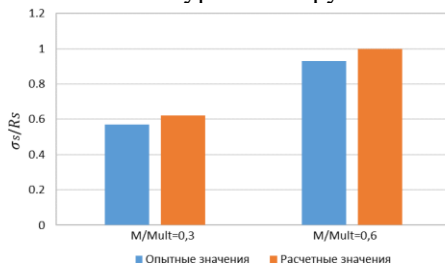


Рис. 3. Значения опытных и расчетных значений σ_s/R_s в зависимости от уровня нагружения.

В проведенном эксперименте при уровне нагружения $\frac{M}{M_{ult}} = 0,6$ растягивающие напряжения (389 МПа) в арматуре железобетонных балок близки к опытному значению предела текучести (433 МПа). Суммарные относительные напряжения в арматуре: для уровня нагружения $\frac{M}{M_{ult}} = 0,3$ составили: $\frac{\sigma_s}{R_s} = 0,57$; для уровня нагружения $\frac{M}{M_{ult}} = 0,6$ составили 0,93

Заключение

Оценка результатов графиков показывает более раннее достижение арматурой железобетонных элементов предела текучести из-за действия циклического замораживания – оттаивания. Так, при эксплуатационном нагружении $0,6M_{ult}$ суммарные напряжения от силового нагружения и деструктивного расширения бетона вследствие циклического замораживания-оттаивания составили $0,93R_s$.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Пинус Б.И. и др. «Изменение конструктивных свойств бетонов при охлаждении и замораживании» // Вестник Иркутского государственного технического университета., 2015. № 2(97). С. 111-116.
2. Добшиц Л.М. «Физико-математическая модель разрушения бетонов при попеременном замораживании и оттаивании» // Жилищное строительство, 2017. № 12. С. 30-36.
3. Истомин А.Д. и др. «Влияние способа водонасыщения бетона и отрицательной температуры на его деформативно-прочностные характеристики» // Наука и техника в дорожной отрасли, 2018. № 4(86). С. 40-42.
4. Истомин А.Д., Назаров Т.А. «Влияние природных циклов замораживания - оттаивания на прочность и деформативность бетона // Технология текстильной промышленности», 2019. № 3(381). С. 52-56.
5. Истомин А.Д., Петрова В.А. «Напряженно-деформированное состояние статически неопределимых балок в условиях отрицательных температур» // Строительство и реконструкция, 2019. № 1(81). С. 3-9.
6. Тамразян А.Г. Бетон и железобетон - взгляд в будущее. Вестник МГСУ. 2014. № 4. С. 181-189.
7. Тамразян А.Г. Огнеударостойкость несущих железобетонных конструкций высотных зданий. Жилищное строительство. 2005. № 1. С. 7.
8. Тамразян А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 77-83.
9. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.

ВЛИЯНИЕ ЗОНАЛЬНОГО АРМИРОВАНИЯ БЕТОНА СТАЛЬНОЙ ФИБРОЙ НА НЕСУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ БАЛКИ

Использование многослойных конструкций позволяет выбрать разные слои с учетом их эффективности использования и функциональных качеств, что позволяет снижать собственный вес конструкций, трудозатраты, экономить материал и уменьшать стоимость несущих слоистых элементов [1,2,3,4,5,6].

Цель работы заключается в оценке влияния зонального армирования стальной фиброй поперечного сечения балок на их несущую способность

Схема исследуемых балок представлена на рис. 1.

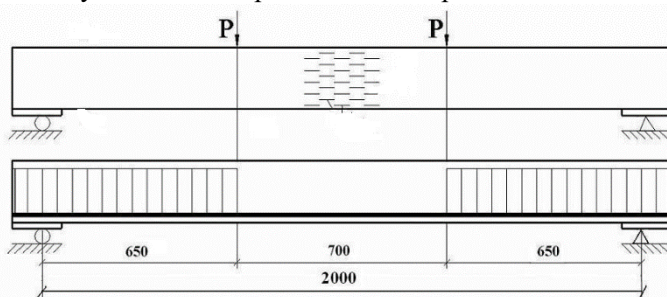


Рис.1. Схема исследуемых балок

Был проведен расчет опытных образцов при различном зональном расположении фибробетона с процентом армированием 2%. В качестве бетонной матрицы использовался бетон класса В20, рабочая арматура - 2Ø12 А400. Состав бетона по весу: В/Ц : П/Ц : Щ/Ц = 0,52: 1,2: 2,2. Фибра представляла собой рубленую металлическую проволоку Ø3 мм и длиной 30 мм. Объемный процент армирования фиброй составил 2%. При этом варьировалась толщина фибробетонного слоя и его расположение. Укладка бетона и фибробетона осуществлялась последовательно без предварительного твердения слоев, что обеспечивало их сцепление между собой.

Первый и второй рассматриваемые варианты зонального армирования фибробетона в нижней грани на четверть высоты и на половину высоты сечения (рис.2).

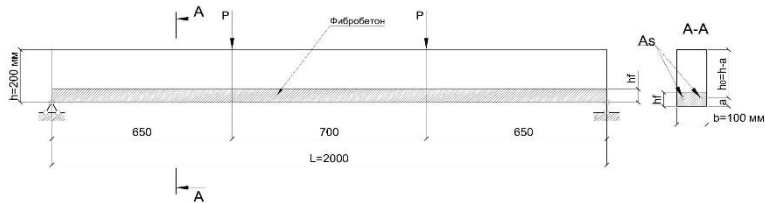


Рис.2. Зональное армирование фиброй в нижней грани балки на высоту h_f

Третий и четвертый рассматриваемые варианты зонального армирования фибробетона в верхней грани на четверть высоты сечения и на половину высоты сечения (рис.3).

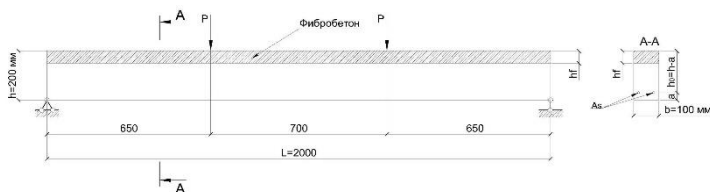


Рис.3. Зональное армирования фиброй в верхней грани балки на высоту h_f

Результаты расчета балок с различным зональным расположением фибробетона представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчета балок с зональным расположением фибробетона

Характеристика	Ж/б балка без зонального армирования	Сталефибробетонная балка с арматурой	Зональное расположение фибробетона:			
			по нижней грани		по верхней грани	
			$h_f=5$ см	$h_f=10$ см	$h_f=5$ см	$h_f=10$ см
M_{ult} , кН·м	10,96	13,92	11,55	11,8	12,386	12,59
Δ , %	-	27,0	5,37	7,64	13,0	14,89
Δ^* , %	21,26	-	-17,0	-15,2	-11,0	-9,5
M_{cr} , кН·м	1,4	2,79	2,68	2,7	1,44	1,42
Δ , %	-	99,12	91,85	93,53	2,65	1,52
Δ^* , %	-49,78	-	-3,65	-2,8	-48,45	-49,02
a_{cr} , мм	0,248	0,162	0,184	0,169	0,234	0,237
Δ , %	-	-34,8	-25,86	-31,75	-5,63	-4,24
Δ^* , %	+53,39	-	+13,72	+4,68	+44,76	+46,89
f_s , мм	8,2	7,04	7,29	7,25	8,18	8,31
Δ , %	-	-14,15	-11,1	-11,59	-0,24	1,34
Δ^* , %	+16,48	-	+3,55	+2,98	+16,19	+18,04

На основе полученных данных можно сделать вывод, что балки с зональным расположением фибробетона у нижней грани на высоту $h_f/h = 0,25$ увеличивает $M_{сгс}$ на 91,8%, на высоту $h_f/h = 0,5$ на 93,53%, значения $a_{сгс}$ уменьшаются на 25,86% при $h_f/h = 0,25$ и на 31,75% при $h_f/h = 0,5$. При этом несущая способность увеличивается на 5...7%. У балок с зональным расположением фибробетона у верхней грани несущая способность увеличивается на 13...15%. Расположение фибробетона у верхней грани практически не сказывается на моменте трещинообразования и ширине раскрытия трещин. Таким образом, наиболее эффективным вариантом зонального расположения фибробетона является его расположение у верхней грани балки на высоту $h_f/h = 0,5$, так как при этом наблюдается максимальное увеличение несущей способности балки.

Заключение

Наиболее эффективным вариантом зонального расположения фибробетона является его расположение у верхней грани балки на высоту $h_f/h = 0,5$. При этом наблюдается максимальное увеличение несущей способности балки, а именно на 15%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Александров Е.Н., Истомин А. Д. Анализ напряженно деформированного состояния изгибаемых элементов с комбинированным армированием на основе диаграмм деформирования фибробетона // Научное обозрение, 2016. №4. С. 35-39.
2. Уткин Д.Г. Прочность изгибаемых железобетонных элементов с зонным армированием из стальной фибры // Строительство и реконструкция. 2021 №1. С. 85-95.
3. Александров Е.Н., Истомин А. Д. Анализ напряженно деформированного состояния изгибаемых элементов с комбинированным армированием на основе диаграмм деформирования фибробетона // Научное обозрение, 2016. №4. С. 35-39.
4. Фиговский Ю. Б. и др. Прочность нормальных сечений двухслойных каутоно–бетонных изгибаемых элементов строительных конструкций // Восточно–Европейский журнал передовых технологий. 2014. №6(11). С. 14–20.
5. Потапов, Ю.Б. и др. Расчет прогибов железобетонных изгибаемых элементов с верхним слоем из высококачественного бетона // Вестник МГСУ. 2016. №3. С26 –36.
6. Перминова Е.Г. Напряженное состояние конструкций двухслойных отдельно стоящих фундаментов // Строительство и техногенная безопасность. 2011. №39. С60 –66.

ПРИМЕНЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В ЖИЛИЩНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

В настоящее время основным материалом, используемым во всех отраслях строительства, является бетон [1]. Причинами столь широкого применения данного строительного материала являются огромные запасы природных ресурсов, а также отходов различных отраслей промышленности, используемых для производства вяжущих и заполнителей бетонной смеси; высокая прочность; удовлетворение постоянно растущих требований различных отраслей строительства; возможность изменения характеристик путем применения специальных добавок и т.д. В завершении хочется отметить простоту и низкую энергоемкость технологических процессов по созданию железобетонных конструкций [2].

В результате обширного применения и очевидных преимуществ данного строительного материала в настоящее время непрерывно ведутся работы по его совершенствованию. Один из ведущих путей развития данной технологии представляет собой применение высокопрочного бетона в качестве основного материала для железобетонных конструкций.

Высокопрочный бетон – это в первую очередь бетон, который обладает совершенной структурой цементного камня, а также высокой прочностью сцепления его с заполнителями, для которых характерен оптимальный гранулометрический состав [3]. Как правило, высокопрочным бетоном принято считать бетон класса В60 и выше с прочностью при сжатии 50-100 МПа, при изгибе свыше 5,5 МПа, а так же особо высокопрочным с пределом прочности на сжатие более 100 МПа. Этот вид бетона обладает повышенной скоростью затвердевания, что уменьшает сроки набора требуемой прочности, а также повышает долговечность несущих конструкций сооружений. Это позволяет в свою очередь снизить, в некоторых случаях даже исключить затраты на тепловлажностную обработку изделий, изготавливаемых в заводский условиях, снизить трудоемкость, общую стоимость строительства и материалоемкость железобетонных конструкций [4].

В настоящее время в подавляющем большинстве индустриально развитых стран налаживается производство высокопрочного бетона с прочностью на сжатие более 60 МПа [4]. Основными областями его применения считаются многоэтажные каркасные здания, одноэтажные здания промышленного назначения, инженерные сооружения, высотное строительство, возведение мостов и т.д.

Несмотря на то, что область применения высокопрочного бетона не перестает расширяться, данный материал все еще остается полностью неизученным, в связи с чем он по-прежнему остается актуальной темой исследований, главной задачей которых является оценка эффективности применения высокопрочного бетона путем сравнения несущих систем, выполненных из обычного и высокопрочного бетонов.

В статье А.В. Федорова, В.Н. Аксенова «К вопросу о применении высокопрочного бетона в сжатых элементах высотных зданий» [2] описывается эксперимент, в котором наглядно продемонстрирована эффективность использования высокопрочного бетона при конструировании железобетонных колонн. В первоначальном варианте они были запроектированы из бетона класса В25, после чего расчетная схема была пересчитана с использованием высокопрочного бетона класса В60, что позволило уменьшить размеры поперечного сечения колонн, тем самым снизив затраты на материалы для их возведения на 16,6 %, а также увеличив полезную площадь здания.

В статье И.Т. Мирсаяпова, Г.П. Никитина, В.Д. Симакова «Применение высокопрочного бетона класса В80 для несущей системы 18-ти этажного жилого дома в комплексе «Салават Купере» [5] представлен результат изменения проектного класса бетона с В25 на В80. По итогу данного решения стало доступным уменьшение толщины плиты перекрытия, что позволило сократить расход бетона на 5%; снижение количества свай на 21%; снижение количества ростверков, что привело к уменьшению расхода бетона на 23%, расхода стали на 22%; уменьшение количества и сечений колонн, что способствовало убавлению расхода бетона и стали на 60% и 70% соответственно. Техничко-экономическое сравнение показало следующее: расход бетона уменьшился на 20%, стали на 13%, что в свою очередь позволило сэкономить 13,5% от стоимости проектного каркаса.

В работе Н.Н. Трекина, Э.Н. Кодыша «Перспективы применения высокопрочных бетонов в конструкциях зданий и сооружений» [6] был проведен анализ применения высокопрочных бетонов, по итогу которого была доказана возможность снижения численности типоразмеров железобетонных конструкций, а также продемонстрирован экономический эффект данного проектного решения. Таким образом, по данным расчетов толщина подошвы столбчатого фундамента под колоннами сокращается в обратной пропорциональной зависимости от увеличения прочности бетона. Как пример, повышение прочности от 12,5 МПа до 80 МПа позволяет снизить расход бетона и арматуры на 26% и 34% соответственно. Использование высокопрочного бетона в плитах перекрытия без изменения опалубочных размеров позволяет сократить рабочую арматуру на 6 %, значительно снизить конструктивное армирование, в некоторых случаях полностью исключая его из проекта.

На основе перечисленных выше исследований [4-6] можно сделать вывод о том, что применение высокопрочного бетона позволяет:

- значительно сократить расход материалов и затраты на строительство;
- уменьшить размеры поперечных сечений несущих элементов, тем самым снизив вес этих конструкций и всего здания в целом;
- сократить объем строительного-монтажных работ;
- увеличить расстояние между несущими конструкциями, что способствует увеличению полезной площади помещений;

Результаты проведенных исследований [4-10] свидетельствуют об экономической эффективности данного проектного решения.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гостев А.А., Колтунова Р.Э.* Актуальность использования бетона в строительстве современных объектов. ЮЗГУ. МЛ-56, Том 2. 2021. С. 203-205.

2. *Федоров А.В., Аксенов В.Н.* К вопросу о применении высокопрочного бетона в сжатых элементах высотных зданий. Инженерный вестник Дона, 2018. №3.

3. *Джанкулаев А.А., Тухужева Л.А.* Техничко-экономическая эффективность применения высокопрочных бетонов // Вопросы науки и образования. КБГУ. 2019. С. 5-7.

4. *Шевченко В.А.* Технология и применение специальных бетонов. Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2012. 202 с.

5. *Мирсаяпов И.Т., Никитин Г.П., Симаков В.Д.* Применение высокопрочного бетона класса В80 для несущей системы 18-ти этажного жилого дома в комплексе «Салават Купере» // Известия КГАСУ, 2018. №3(45). С. 145-152.

6. *Трекин Н.Н., Кодыш Э.Н.* Перспективы применения высокопрочных бетонов в конструкциях зданий и сооружений // Вестник МГСУ, 2011. №2. С. 39-43.

7. *Тамразян А.Г.* Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 77-83.

8. *Тамразян А.Г., Филимонова Е.А.* О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки. Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30-32.

9. *Тамразян А.Г.* К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.

10. *Тамразян А.Г.* К задачам мониторинга риска зданий и сооружений. Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 3 (170). С. 19-21.

ОЦЕНКА НДС ПЛОСКО НАПРЯЖЕННЫХ УЗЛОВ РИГЕЛЬ-КОЛОННА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАРКАСОВ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ

Анализ представленных в научной литературе расчетных моделей узлов сопряжения ригель-колонна показывает, что большая их часть основана на упрощенном представлении сложноподпряженного элемента путем замены напряжений обобщенными усилиями. Так, выделяя два характерных механизма сопротивления, ферменный и по сжатой наклонной полосе, Shyh-Jiann Hwang and Hung-Jen Lee [1] оценивают возможность их реализации по отдельности. Схожий подход к анализу работы можно обнаружить в работах других авторов [2–4]. Однако такие подходы не позволяют в полной мере выполнить оценку сопротивления самого узлового соединения.

Цель настоящего исследования - построение расчетной модели, которая могла бы быть реализована в виде специального конечного элемента узла сопряжения и интегрирована в стандартную процедуру конечно-элементного анализа для повышения точности его результатов при оценке особого предельного состояния таких сложно напряженных элементов несущих конструкций.

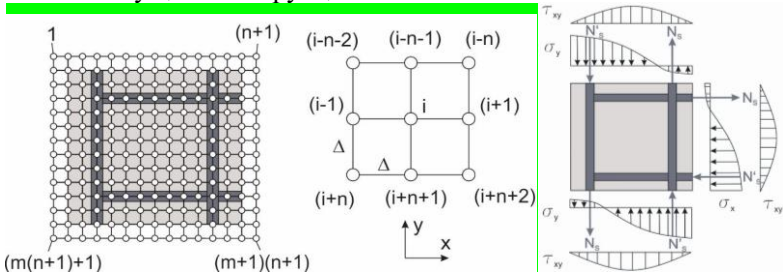


Рис. 1. а) Схема к расчету элемента стыка по методу сеток: общий вид; б) Принятое правило нумерации узлов сетки; в) Модель узла сопряжения ригеля и колонны

Построение расчетной модели и конечно-разностных уравнений метода сеток. Принимая двумерную постановку задачи о расчете напряженно-деформированного состояния элемента стыка ригеля и колонны железобетонной рамы, уравнения равновесия бесконечно малого объема ортотропного тела могут быть записаны в перемещениях в следующем виде:

$$\frac{E_x}{1 - \nu^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{E_y \nu_x}{1 - \nu^2} \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} + G_{xy} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial x \partial y} \right) = 0; \quad (1)$$

$$\frac{E_y}{1-\nu^2} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{E_x \nu_y}{1-\nu^2} \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} + G_{xy} \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial x \partial y} \right) = 0,$$

где u, ν – перемещения узлов сетки вдоль ортогональных координатных осей ОХ и ОУ соответственно; E_x, E_y – приведенные модули деформаций материала вдоль ортогональных координатных осей ОХ и ОУ соответственно; $G_{xy} = \sqrt{E_x E_y} [2(1 + \nu)]^{-1}$ – приведенный модуль сдвига; $\nu_x = \nu \sqrt{E_x / E_y}$; $\nu_y = \nu \sqrt{E_y / E_x}$, ν – коэффициент Пуассона ($\nu = 0,2$).

В уравнениях (1) мы пренебрегли компонентами объемных сил от собственного веса материала, поскольку они не вносят существенного вклада в общее напряженное состояние элемента на рассматриваемых в исследовании стадиях нагружения. Разобьем область, ограничивающую рассматриваемый элемент стыка, сеткой с одинаковым шагом по горизонтали и по вертикали таким образом, чтобы центры тяжести арматурных стержней совпадали с линиями сетки (рисунок 1, а).

Тогда уравнения (1) для i -ой точки рассматриваемого плоско напряженного элемента (за исключением угловых точек) перепишем в виде:

$$\begin{aligned} & 4(a_{(i-1)}u_{(i-1)} - 2a_i u_i + a_{(i+1)} u_{(i+1)}) + \\ & (b_{(i-n-2)}v_{(i-n-2)} - b_{(i+n)} v_{(i+n)} + b_{(i-n)} v_{(i-n)} - \\ & b_{(i+n+2)}v_{(i+n+2)}) + (4d_{(i-n-1)}u_{(i-n-1)} - 8d_i u_i + \\ & 4d_{(i+n+1)} u_{(i+n+1)} + d_{(i-n-2)}v_{(i-n-2)} - d_{(i+n)} v_{(i+n)} + \\ & d_{(i-n)} v_{(i-n)} - d_{(i+n+2)}v_{(i+n+2)}) = 0; \\ & 4(c_{(i-n-1)}v_{(i-n-1)} - 2c_i v_i + c_{(i+n+1)}v_{(i+n+1)}) + \\ & (b_{(i-n)}u_{(i-n)} - b_{(i-n-2)}u_{(i-n-2)} + b_{(i+n+2)}u_{(i+n+2)} - \\ & b_{(i+n)}u_{(i+n)}) + (4d_{(i-1)}v_{(i-1)} - 8d_i v_i + 4d_{(i+1)}v_{(i+1)} + \\ & d_{(i-n)}u_{(i-n)} - d_{(i-n-2)}u_{(i-n-2)} + d_{(i+n+2)}u_{(i+n+2)} - \\ & d_{(i+n)}u_{(i+n)}) = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

При выводе уравнений (2) были приняты следующие обозначения: a_i, b_i, c_i, d_i - коэффициенты приведения параметров деформативности материалов в узлах, пересекаемых арматурными стержнями, а также в произвольных узлах рассматриваемого элемента в деформированном состоянии и определяемые из соотношений:

$$\begin{aligned} a_i &= \frac{E_{x,i}}{1-\nu^2} = \frac{E_b + kE_s \frac{A_{sx}}{b_{col}\Delta}}{1-\nu^2}; \quad c_i = \frac{E_{y,i}}{1-\nu^2} = \frac{E_b + kE_s \frac{A_{sy}}{b_{col}\Delta}}{1-\nu^2}; \\ b_i &= \frac{E_{y,i}\nu_{x,i}}{1-\nu^2} = \frac{E_{x,i}\nu_{y,i}}{1-\nu^2} = \frac{E_b + kE_s \frac{A_{sy}}{b_{col}\Delta}}{1-\nu^2} \nu_{x,i} = \frac{E_b + kE_s \frac{A_{sx}}{b_{col}\Delta}}{1-\nu^2} \nu_{y,i}; \end{aligned}$$

$$d_i = G_{xy,i} = \frac{E_b \sqrt{\left(1 + k \frac{E_s}{E_b} \frac{A_{sy}}{b_{col}\Delta}\right) \left(1 + k \frac{E_s}{E_b} \frac{A_{sx}}{b_{col}\Delta}\right)}}{2(1 + \nu)},$$

где E_b, E_s – модули деформаций бетона и арматуры соответственно; A_{sx}, A_{sy} – площадь поперечного сечения арматурных стержней вдоль осей ОХ и ОУ соответственно, оси которых проходят через i – ый узел сетки; b_{col} – ширина поперечного сечения колонны; Δ – шаг, с которым линии сетки разбивают область рассматриваемого узла сопряжения; k – коэффициент, учитывающий передачу сдвигающих усилий с бетона на поверхность арматурных стержней и принимаемый в интервале от 0 до 1, где 1 – соответствует полной передаче усилий, а 0 – полному отсутствию сцепления между арматурой и бетоном.

Вывод. В работе предложена расчетная модель для анализа силового сопротивления плоско напряженных монолитных узлов сопряжения ригелей и колонн железобетонных рамно-связевых каркасов зданий при структурных перестройках, вызванных внезапной потерей несущей способности одного из элементов конструктивной системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хван С.Дж., Ли Х.Дж. Аналитическая модель для прогнозирования прочности на сдвиг внутренних соединений железобетонных балок и колонн на сейсмостойкость // ACI Struct. J. 2000. Т. 97, № 1. С. 35-44.
2. Цонос А.Г. Эффективность углепластиковых оболочек и RC-оболочек при модернизации узлов балочно-колонных узлов после землетрясения и до землетрясения // Англ. Структура. 2008. Том 30, № 3. С. 777-793.
3. Хаяти Н., Хамид А. Сейсмические характеристики внутреннего соединения балки и колонны с предохранителем, спроектированного с использованием Es8 при поперечной циклической нагрузке в плоскости // Международная конференция по борьбе со стихийными бедствиями и гражданскому строительству (ICDMCE'15) 1-3 октября 2015 г. Пхукет (Таиланд). Универсальные исследователи, 2015. № Июль.
4. Ю Дж., Тан К.Х. Структурное поведение узлов RC-балки-колонны при сценарии удаления средней колонны // J. Struct. Англ. 2013. Том 139, № 2. С. 233-250.
5. Колчунов В.И., Савин С.Ю. Критерии живучести железобетонного каркаса при потере устойчивости // Mag. Civ. Eng. 2018. Том 80, № 4. С. 73-80.

Студентка 3 курса 3 группы ИГЭС Потапова Ю.А., студентка 3 курса 3 группы ИГЭС Ларичева Л.Н.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук А.Д. Истомин, ст. преп. Е.В. Домарова

ДИАГРАММЫ ДЕФОРМИРОВАНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА

Одним из направлений совершенствования железобетонных конструкций является использование бетонов классов по прочности В80 - В120, т.е. высокопрочных бетонов. Повышение прочностных характеристик бетона позволяет уменьшить размеры сечений конструкций, их вес и, в ряде случаев, стоимость строительства [1,2,3,4].

За последние 40 лет прочность на сжатие серийно производимого бетона увеличилась примерно в три раза - с 30 МПа до 100 МПа. Это стало возможным благодаря следующим факторам:

- достижения в области технологии химических добавок;
- производство минеральных добавок (дополнительных цементирующих материалов);
- разработка экспериментально – теоретических основ получения высокопрочных бетонов.

Основными условиями получения высокопрочных бетонов является использование высокоактивных вяжущих веществ, крупных и мелких заполнителей соответствующего качества и гранулометрического состава [5].

Существуют различные способы получения высокопрочного бетона, например, получение высокопрочного бетона за счет уменьшения водоцементного отношения ($В/Ц < 0,3$). Получение высокопрочного бетона за счет применения низкотемпературной керамики. Получение высокопрочного бетона за счет применения аморфного микрокремнезема. Одним из путей получения высокопрочного бетона в России является применение модификатора марок МБ: двухкомпонентная гранулированная добавка на основе аморфного микрокремнезема и суперпластификатора С-3.

В зависимости от прочности высокопрочные бетоны могут быть классифицированы следующим образом [6]:

- 1) нормальной прочности – бетон с прочностью до 60 МПа;
- 2) высокопрочный – бетон с прочностью от 60 до 100 МПа;
- 3) очень высокопрочный бетон – бетон с прочностью от 100 до 150 МПа;
- 4) сверхвысокопрочный – бетон с прочностью более 150 МПа.

Обобщенная классификация высокопрочных бетонов в зависимости от их прочности представлена в виде диаграммы на рис.1.

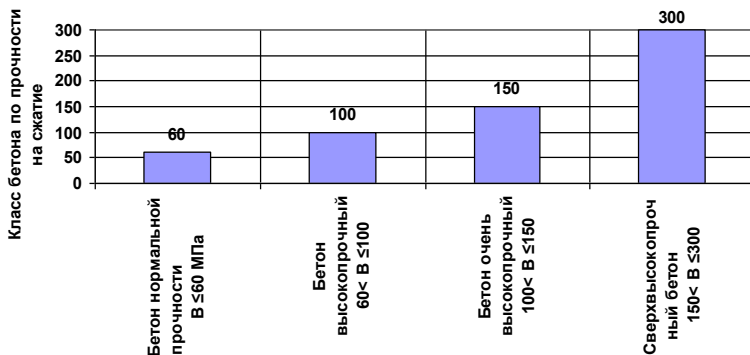


Рис 1. Классификация высокопрочных бетонов

Для аналитического описания диаграмм высокопрочных бетонов при кратковременном нагружении была принята структура формулы Еврокода 2. В результате обработки результатов испытаний высокопрочных бетонов получена зависимость « $\sigma_b - \varepsilon_b$ » в виде:

$$\frac{\sigma_b}{R_b} = \frac{a\eta + k\eta - \eta^2}{c + (k - 2)\eta - \eta^2 + b\eta + \eta^m}, \quad (1)$$

где a, b, c - эмпирические коэффициенты, зависящие от класса бетона (см. табл.1),

$$\eta = \frac{\varepsilon_b}{\varepsilon_{b0}}, \quad k = \frac{1,1 \cdot E_{b0} \cdot |\varepsilon_{b0}|}{R_b}, \quad m = (k^{-1} - 0,5) \cdot R_b. \quad (2)$$

Предельная сжимаемость бетона принята по предложениям А.М. Мкртчяна [7]:

$$\varepsilon_{b0} = (1,62R_b + 127,33) \cdot 10^{-5}. \quad (3)$$

Таблица 1

Значение эмпирических коэффициентов a, b, c

	Значение коэффициентов a, b, c при классе бетона				
	B60	B70	B80	B90	B100
a	3,294	12,908	16,950	15,420	8,318
b	1,464	-2,198	-2,303	1,149	8,158
c	6,421	1,525	-0,547	0,203	3,777

По формуле (1) рассчитаны и построены диаграммы состояния бетона при центральном сжатии для опытных данных [7] (см. рис.2).

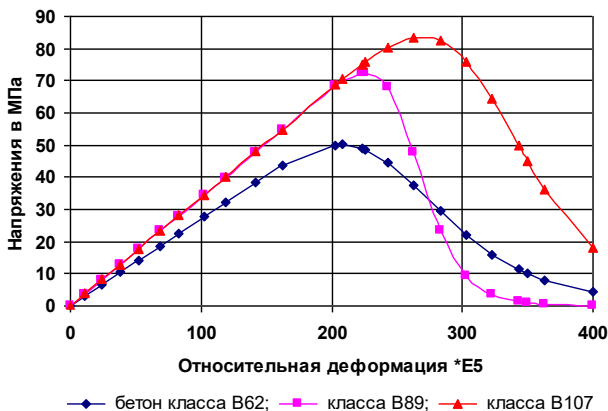


Рис.2. Диаграммы деформирования высокопрочного бетона

Проведенный анализ показал, что отклонения опытных данных и результатов расчета по формуле (1) лежит в пределах 5-14%. Максимальное отклонение наблюдается на нисходящей ветви диаграммы работы сжатого бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Берг О.Я., Щербаков Е.Н., Писанко Г.Н.* Высокопрочный бетон: монография. М.: Стройиздат, 1971. 207 с.
2. *Несветаев Г.В.* Перспективы применения высокопрочных бетонов // Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь: 7 междунар. науч.-метод. семинар. Брест, 2001. С. 313-318.
3. *Каприелов С.С. и др.* Опыт возведения уникальных конструкций из модифицированных бетонов на строительстве комплекса «Федерация» // Промышленное и гражданское строительство. 2006. № 8. С. 20-22.
4. *Мкртчян А.М.* Расчёт железобетонных колонн из высокопрочного бетона по недеформированной схеме // Научное обозрение. 2013. №11 С. 208-212.
5. *Несветаев Г.В., Тимонов С.А., Кардумян Г.С.* Некоторые технологические аспекты высокопрочных бетонов // Совершенствование железобетонных конструкций, оценка их состояния и усиление. Минск: Технопринт, 2001. С. 123-127.
6. *Mavlonov R.A., Nosirjonov N.R.* Development and application of ultra high performance concrete // Инновационная наука. 2016. №5. С. 130-132.
7. *Мкртчян А.М. и др.* Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 4. С. 6-18.

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТ С ПУСТОТООБРАЗОВАТЕЛМИ

Стремление к оптимизации в строительной науке будет всегда. Интерес к тому, чтобы сделать определенный процесс проще, экономичнее, надежнее, всегда будет двигать науку вперед. В последнее время появляется все больше и больше технологий, которые значительно повышают несущую способность конструкций: углепластики, стеклопластики, базальтовая арматура, самоуплотняющийся при застывании цемент и т.д. Все это повышает несущую способность конструкции, в которой такие инновационные материалы используются.

В гражданском строительстве в настоящее время очень активно используется технология несъемной опалубки с использованием пустотообразователей. Такие плиты отвечают запросу строительной индустрии: экономия материалов, без понижения качества готовой продукции.

Применение несъемной опалубки позволяет значительно снизить стоимость возводимой конструкции:

- на 30 % уменьшается расход бетона, благодаря применению пустотообразователей. Из плиты убирается бетон, который не почувствует в работе.

- до 40 % снижения расхода арматуры. Пустотообразователи выполняют роль поддерживающих каркасов – поверх них укладывается верхняя арматурная сетка, поэтому опадает необходимость использования конструктивной арматуры.

- уменьшение общего веса здания, как результат уменьшение толщины фундаментной плиты.

Таким образом значительно снижается общая масса конструкции, что приводит к повышению сейсмостойкости здания и уменьшению прогибов плиты. Благодаря уменьшению прогибов плиты появляется возможность увеличить пролеты не прибегая к применению балок и капителей, что дает большую архитектурную свободу. Также эта технология позволяет увеличить нагрузку на плиты.

Применение пустотообразователей на сегодняшний день является одним из самых экономичных способов конструирования перекрытий. В своей работе [1] Кудрявцев А.В. проводит сравнение различных типов перекрытий: по экономичности плиты с пустотообразователями уступают только кесонным, но последние не имеют гладкой нижней поверхности поэтому данный тип плит не применим в гражданском строительстве.

Эта технология довольно популярна, компания Sobiax только за 2021

год реализовала 13 объектов с применением пустотообразователей Cobiax, большинство объектов построено в Германии, но есть объекты построенные в Швейцарии и Арабских Эмиратах.

Пустотообразователи представляют собой сферы, полусферы и довольно плоские параллелепипеды, выбор той или иной формы зависит от толщины плиты. Пустотообразователи устанавливаются по всей площади плиты, за исключением зон продавливания у колонн и зон опирания плит на стены.

Концепция работы плиты основана на том, что бетон, расположенный в нейтральной зоне плиты практически не влияет на ее работу, а следовательно его можно заменить на более легкий материал или убрать. [2]

Было произведено множество экспериментов для выявления того, как ведет себя плита под нагрузкой. Основными контролируемыми параметрами являются прогибы, образованию трещин и прочность нормальных и наклонных сечений.

При проектировании плит необходимо придерживаться определенных требований, чтобы плита корректно вела себя под воздействием нагрузки. Важно соблюдать минимальное расстояние между центрами пустотообразователей и минимальным расстоянием от опоры плиты до начала расположения пустотообразователей. На примере пустотообразователей Cobiax SL Slim Line это расстояние составляет примерно 35см. Такое ограничение связано с тем, чтобы обеспечить передачу нагрузки через так называемый «мостик» или стенку.

При проектировании плит важно правильно определить положение нейтральной оси то есть, где сечение переходит из сжатого состояния в растянутое. Если граница сжатой зоны не будет превышать толщину полки над пустотообразователем сечение будет рассчитываться как прямоугольное, если же будет превышать, то сечение будет рассчитываться как тавровое.

Сплошная зона из бетона возле колонн определяется с учетом того, что она должна быть значительно больше, чем граница зоны, в пределах которой в расчете учитывается поперечная арматура. Это связано с пониженным сопротивлением сечения поперечным силам, в виду ослабления сечения из-за наличия пустотообразователей.

При расчете следует обратить особое внимание на толщину полки. Она должна быть, согласно проведенным экспериментам [5], не менее 45мм. Чтобы не допустить продавливания плиты над пустотообразователем.

В результате испытаний [5] было определено, что разрушение плит с пустотообразователями происходит менее резко в сравнении со сплошными плитами. В испытании участвовали пустотообразователи высотой 100мм и 220мм. По итогу можно сказать, что среднее значение

поперечной силы в момент разрушения для плит с пустотообразователями 100мм равно 125,77кН, а для плит с пустотообразователями 220мм – 189,75 кН.

Резюмируя все вышесказанное можно сделать вывод, что технология использования пустотообразователей в плитах перекрытий, несомненно, большой шаг строительной науки к более экономичному потреблению ресурсов [6-9]. Но в России, к сожалению, использование облегченных плит не так популярно, как следовало бы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кудрявцев А.В. Устройства монолитных перекрытий с не Извлекаемыми пустотообразователями для уменьшения материалоемкости конструкции. [Текст] / Кудрявцев А.В //Сборник докладов VII Всероссийская конференция «Научная инициатива иностранных студентов и аспирантов российских вузов».-2014 С.220-225

2. Корягин А.А., Тимофеева Е.Е., Применение современных материалосберегающих технологий облегчения железобетонных перекрытий. [Текст] / Корягин А.А., Тимофеева Е.Е. - Иваново: ИвГПУ, 2018.

3. Тереза Е.А., Егоров П.И., Анализ расчета монолитной плиты перекрытия с пустотообразователями прямоугольной формы. [Текст] / Тереза Е.А., Егоров П.И., // Дальний восток: проблемы развития архитектурно-строительного комплекса /Хабаровск: ТГУ 2016, с 378-382

4. Малахова А.Н. Пустотные кесонные плиты перекрытия монолитных многоэтажных зданий [Текст] / Малахова А.Н. //Вестник МГСУ.2016. №6 С.15-24

5. Christian A. , Andrej A., Karsten P., Jürgen S. Design and construction of two-way spanning reinforcedconcrete slabs with flattened rotationally symmetrical void formers// Journal of Beton- und Stahlbetonbau. – 2012. – Vol. 107. – № 9. – P. 590-600.

6. Тамразян А.Г., Филимонова Е.А. О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки.Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30-32.

7. Тамразян А.Г. К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.

8. Tamrazyan A.G. The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures. Procedia Engineering (см. в книгах). 2016. Т. 153. С. 715-720.

9. Тамразян А.Г. Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня. Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.

СЕКЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ И КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

*Студент магистратуры 2 года обучения 1 группы ИСА Андриян К.Р.
Научный руководитель – проф., д-р техн. наук, проф. Н.Н. Трекин*

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ПЕРЕКРЫТИЯ НА ПРОДАВЛИВАНИЕ ПРИ СТАТИ-ЧЕСКОМ И ДИНАМИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ

В современном строительстве получают все большее распространение монолитные железобетонные здания с безригельным, безкапитальным каркасом, где плоские плиты перекрытий постоянной толщины опираются непосредственно на колонны. Данное конструктивное решение даёт существенную экономию материалов, снижение трудозатрат, расширяет возможность формирования различных планировочных решений и технического перевооружения объекта и др.

Одним из основных вопросов при проектировании монолитных железобетонных зданий с безригельным каркасом является расчёт и конструирование стыков колонн с плоскими перекрытиями с учётом современных требований по обеспечению механической безопасности, в том числе защиты от прогрессирующего обрушения, что связано с работой конструкции при кратковременных динамических нагрузках [1-3].

Современные нормы проектирования развитых стран имеют существенные различия в расчётных положениях по определению несущей способности монолитных железобетонных плит на продавливание [4].

Расчёт на продавливание по СП 63.13330.2018 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения» представляет собой соблюдение общего условия:

$$F \leq F_{b,ult}$$
$$F_{b,ult} = R_{bt} * A_b ,$$

где F – сосредоточенная сила от внешней нагрузки; $F_{b,ult}$ – предельное усилие, воспринимаемое бетоном; A_b – площадь расчётного поперечного сечения, расположенного на расстоянии $0,5h_0$ от границы площади приложения сосредоточенной силы F с рабочей высотой сечения h_0 .

Расчёт на продавливание по EN 1992-1-1-2009 «Еврокод 2. Проектирование железобетонных конструкций» исходит из соблюдения следующего условия прочности:

$$V_{ed} \leq V_{Rd,c}$$

$$V_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} * k * (100\rho_l * f_{ck})^{\frac{1}{3}} + 0,1\sigma_{cp},$$

где V_{ed} – расчётное значение поперечного усилия; $V_{Rd,c}$ – расчётное значение максимального сопротивления продавливанию плиты без поперечной арматуры;

где ρ_l – коэффициент армирования продольной арматурой;

f_{ck} – характеристическая цилиндрическая прочность бетона на сжатие в возрасте 28 суток; σ_{cp} – расчётное значение напряжения бетона в пределах рассматриваемого сечения в x- и y-направлениях.

Расчёт на продавливание по нормам США ACI 318-14 «Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary» представляет собой соблюдение общего условия:

$$\varphi V_n \geq V_u$$

$$V_n = \mu * A_{vf} * f_y,$$

где V_n – нормативное значение прочности на продавливание; V_u – фактическое значение нагрузки; φ – коэффициент понижения прочности, $\varphi = 0,9$, μ – коэффициент трения; A_{vf} – площадь трения арматуры; f_y – расчётное значение предела текучести арматуры [5, 6].

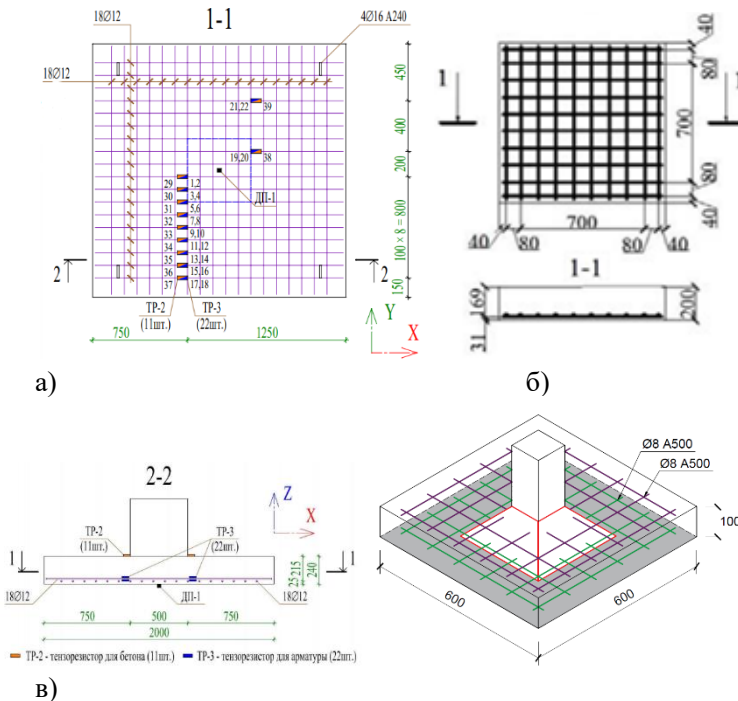


Рис.1 Экспериментальные образцы: а) Пекина А.Д.; б) Клованича С.Ф.; в) Крылова В.В.

Ниже представлены результаты определения несущей способности на продавливание трех экспериментальных образцов.

Таблица 1. Результаты расчета на продавливание образца Пекина А.Д.

Норм. документ	СП 63.13330.2018	EN 1992-1-1-2009	АСИ 318	Экспериментальное значение
$F_{b,ult}$, кН	1076,4	1678,9	1454,3	1546,4

Таблица 2. Результаты расчета на продавливание образца Клованича С.Ф.

Норм. документ	СП 63.13330.2018	EN 1992-1-1-2009	АСИ 318	Экспериментальное значение
$F_{b,ult}$, кН	456,2	494,7	565,2	776,0

Таблица 3. Результаты расчета на продавливание образца Крылова В.В.

Норм. документ	СП 63.13330.2018	EN 1992-1-1-2009	АСИ 318	Экспериментальное значение
$F_{b,ult}$, кН	121,3	174,8	135,6	124,5

Таким образом, по результатам расчета несущей способности на продавливание трех экспериментальных образцов, можно сделать вывод, что отечественные нормы дают наименьшее значение несущей способности на продавливание монолитного перекрытия без поперечной арматуры. по сравнению с зарубежными нормативными документами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Трекин Н.Н., Крылов В.В.* К вопросу о несущей способности железобетонных плит на продавливание при динамическом нагружении на объектах наземной космической инфраструктуры. // Научный аспект, т. 7, № 4, С.771, 2018.
2. *Петров А.Н.* Экспериментальные исследования бетона при нагружении сжатием и срезом. // Бетон и железобетон, №11, 1965г. С.34-37.
3. *Саркисов Д.Ю., Крылов В.В.* Программа экспериментальных исследований несущей способности безбалочных плит на продавливание при динамическом нагружении. Конструкции опытных образцов» // Строительные материалы и изделия, т. 3, № 3, С.47-53, 2020.
4. *Трофимова В.М.* Анализ методов расчёта безбалочных перекрытий на продавливание//Инженерный вестник Дона.–2019.– №1.–С.24-28
5. *Мкртчян А.М.* Особенности конструктивных свойств высокопрочных бетонов // Новые технологии. 2013. № 3. С. 135-143.
6. *Тамразян А.Г.* К оценке риска чрезвычайных ситуаций по основным признакам его проявления на сооружение. Бетон и железобетон. 2001. № 5. С. 8-10.

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ СХЕМЫ КОМПОНОВКИ ПИЛОНОВ В ЖИЛОМ ЗДАНИИ

Актуальность темы: на данный момент стоимость возведения вертикальных элементов монолитных зданий занимает значительную часть от общей стоимости возведения здания, поэтому поиски оптимальной компоновки играет важную роль в конечной стоимости объекта. Также применение генетического алгоритма может ускорить подбор сечений, а также позволит выбрать наиболее эффективное решения по стоимости, отбросив при этом вовсе непригодные по стоимости и по надежности варианты [1-7].

Цель исследования: выявить наиболее эффективную по стоимости схему компоновки пилонов в монолитном жилом здании с сохранением необходимого уровня безопасности и надежности, применяя генетический алгоритм для поиска оптимальных параметров сечения пилонов.

Генетический метод подбора оптимальных вариантов можно разделить на два этапа.

Первый этап.

На первом этапе необходимо определиться с количеством варьируемых параметров. В моем случае это будет 4 параметра:

b – ширина пилона; h – длина пилона; l – шаг пилонов по цифровым осям; s – шаг пилонов по буквенным осям.

Дальше необходимо задать сами значения для каждого параметра:

$$b = \{b_1; b_2; b_3; b_4; b_5; b_n\}; h = \{h_1; h_2; h_3; h_4; h_5; h_n\};$$
$$l = \{l_1; l_2; l_3; l_4; l_5; l_m\}; s = \{s_1; s_2; s_3; s_4; s_5; s_k\}.$$

где n, m, k – количество параметров неизвестной.

Второй этап.

На втором этапе выполняется сам расчет и находится самый рациональный вариант.

Суть расчета заключается в создании множества наборов с различными значениями параметров, которые выбираются случайно. Затем из этого набора выбираются самые эффективные варианты, по параметру/ам по которому/ым идет сравнение, в нашем случае это стоимость. Создается таблица, которая имеет следующий вид:

Стоимость конструкции (C) зависит от следующих параметров:

b_n и h_n – геометрические размеры пилона в выбранном варианте; N_p – общее количество пилонов в выбранном варианте, которое зависит от шага – l_m и s_k ; B – подобранный класс бетона; d – диаметр арматуры; V –

объем бетона в пилоне; N_d – количество подобранных стержней арматуры.

Таблица 1

Набор №1

№ п/п	Варианты комбинаций	Стоимость варианта, руб.
1	2	3
1	$K_{1-1}; b_3; h_n; l_1; s_4$	$C_{1-1} = \{b_3; h_n; N_p; B; d; V; N_d\}$
2	$K_{1-2}; b_4; h_5; l_2; s_2$	$C_{1-2} = \{b_4; h_5; N_p; B; d; V; N_d\}$
3	$K_{1-3}; b_2; h_2; l_3; s_3$	$C_{1-3} = \{b_2; h_2; N_p; B; d; V; N_d\}$
4	$K_{1-4}; b_4; h_3; l_3; s_k$	$C_{1-4} = \{b_4; h_3; N_p; B; d; V; N_d\}$
5	$K_{1-5}; b_n; h_3; l_4; s_1$	$C_{1-5} = \{b_n; h_3; N_p; B; d; V; N_d\}$
6	$K_{1-6}; b_n; h_5; l_m; s_2$	$C_{1-6} = \{b_n; h_5; N_p; B; d; V; N_d\}$

После выбранных вариантов комбинаций необходимо выполнить расчеты на прочность, устойчивость и подбор армирования для каждого варианта.

При выполнении расчета на прочность или на устойчивость, может оказаться, что вариант не подходит по условиям обеспечения надежности и безопасности конструкции, тогда он «выбрасывается» из общего числа вариантов и наиболее эффективный выбирается из оставшихся.

Каждый следующий набор состоит из двух лучших вариантов из предыдущего набора, двух модифицированных вариантов и двух случайных. Применяется это для того, чтобы не сужать область поиска экстремума (рис.1).

Модифицированный вариант – вариант, созданный с применением процедур кроссинговера и мутации.

Затем опять выполняются расчеты и выбираются два наиболее эффективных по стоимости.

И вновь выполняются расчеты и выбирается два наиболее эффективных по стоимости.

Итерации по выбору наилучших вариантов комбинаций продолжаются до тех пор, пока лучшие варианты не перестанут меняться хотя-бы в 3-4 наборах подряд.

После того, как лучшие варианты перестали меняться, выбирается наилучший вариант из оставшихся двух.

После того, как оптимальный вариант выбран, по подобранным параметрам строится модель здания в ПК Лира-САПР, задаются все необходимые нагрузки и выполняется итоговый расчет, после чего выполняется расчет стоимости возведения такого здания.

Выводы.

1. Генетический метод при большом количестве параметров позволяет гораздо быстрее найти оптимальные решения;

2. Генетический метод позволяет «отбросить» заведомо неподходящие варианты;

3. Генетический метод будет эффективен при возведении жилых монолитных зданий.

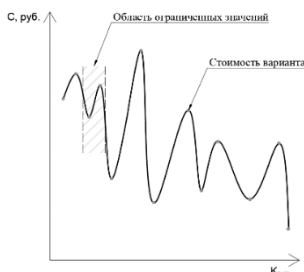


Рис.1. Область поиска без использования модификаторов

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30;

2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50;

3. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005;

4. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306;

5. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002.

6. Тамразян А.Г., Флимонова Е.А. Рациональное распределение жесткости плит по высоте здания с учетом работы перекрытия на сдвиг. Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 84-90.

7. Тамразян А.Г., Фаликман В.Р. Основные требования к проектированию железобетонных конструкций по модельному кодексу ФИБ. Строительство и реконструкция. 2016. № 3 (65). С. 71-77.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ С СОСТАВНЫМИ РИГЕЛЯМИ, АРМИРОВАННЫМИ НАКЛОННЫМИ СТЕРЖНЯМИ, ПРИ ОСОБЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

В связи с увеличивающимися объемами реконструкции зданий и сооружений расширяется применение железобетонных сборно-монолитных и многослойных конструкций различного типа, которые по своим конструктивным особенностям и специфике силового сопротивления можно отнести к классу составных конструкций. Поэтому масштаб применения таких конструкций постоянно растет. Составные конструкции наряду с обычными могут подвергнуться особым воздействиям. При этом в них могут возникать непропорциональные отказы и даже прогрессирующее обрушение, последствия от которого могут быть катастрофическими. В частности, представляет актуальность решение задачи о силовом сопротивлении приопорных участков железобетонных составных конструкций при наклонном расположении поперечной арматуры для случая изменения в них распределения силовых потоков.

При постановке цели и задач был проведен анализ ряда отечественных и зарубежных работ. Исследования особенностей расчета и конструирования железобетонных составных элементов представлены в трудах В.И. Колчунова, В.М. Бондаренко, Mirzakhid Khamitovich Miralimov и др. [1, 2]. Вопросы, касающиеся прочностных и деформационных параметров контактной зоны, также рассматривались в ряде исследований, например, в работах Н.В. Федоровой, Я.Е. Колчина [3, 4]. Задачам, связанным с обеспечением живучести составных железобетонных конструкций при особых воздействиях и разработкой методов защиты от прогрессирующего обрушения, посвящены труды Г.А. Гениева, В.И. Колчунова, Н.В. Федоровой, А.Г. Тамразяна, О.В. Кабанцева и др. [5, 6].

Цель работы – разработка предложений по повышению живучести железобетонной рамной системы каркаса здания с составными конструкциями ригеля при особых и аварийных воздействиях.

Задачи исследования:

- анализ существующих конструктивных решений по конструированию железобетонных ригелей составного сечения;
- построение расчетной модели рамной системы с элементами составного сечения и различными вариантами поперечного армирования на стадиях деформирования в предельных и запредельных состояниях при выключении из работы одной из колонн;

- определение расчетом характерных параметров деформаций, напряжений в бетоне и усилий в арматуре до и после выключения несущей колонны.

Для достижения поставленной цели произведен линейный расчет в ПК ЛИРА САПР. Объектом расчета являлась рама с двумя пролетами по 6 м и высотой 3 этажа по 3,9 м. Моделирование рамы осуществлялось объемными КЭ 36 для бетона и шва контакта, а также КЭ 10 для арматуры, задаваемой жесткостью типа «Круг». В качестве нагрузок были приняты собственный вес ригелей и колонн, а также суммарная равномерно распределенная нагрузка равная 5,3 кН. Колонна и ригель жестко соединены между собой и приняты сечением 400х400 мм из бетона классов В30 и В25 соответственно. При удалении одной из крайних опор ригель будет работать по схеме консоли, поэтому для восприятия растягивающих усилий в верхней части проектируется монолитная часть ригеля 200х400 мм классом В40 со швом контакта равным 10 мм. Чтобы учесть деформативность шва в зоне контакта двух бетонов составного ригеля, для шва контакта был задан модуль упругости на 2 порядка ниже, чем для бетона класса В25.

Расчет производится для трех сценариев:

1) при действии эксплуатационной нагрузки на конструктивную систему всей рамы (первичная расчетная схема);

2) то же, но при удалении средней колонны на 1-м этаже.

3) то же, что в (1), но при удалении крайней колонны на 1-м этаже.

При этом было рассмотрено три различных постановки поперечной арматуры в приопорных участках (на 1/4 длины балки) составного ригеля:

а) поперечное расположение стержней под углом 90° с шагом стержней 200 мм; б) наклонное расположение стержней под углом 45° с шагом стержней 150 мм; в) расположение стержней как в варианте (б), но ортогонально в двух направлениях (рис. 1).

В качестве продольной арматуры в составном ригеле использованы стержни $\varnothing 28$ А500 (в качестве наклонной/поперечной арматуры стержни диаметром $\varnothing 12$ А240), а в колонне – $\varnothing 20$ А500.

Усилия, возникающие в арматуре при наклонном расположении поперечной арматуры в одном и двух направлениях, представлены на рис. 2 и показывают эффективность применения двойных каркасов.

Из анализа этих данных можно видеть, что постановка наклонной арматуры в двух направлениях значительно влияет на усилия в этой арматуре при рассмотренных особых воздействиях.

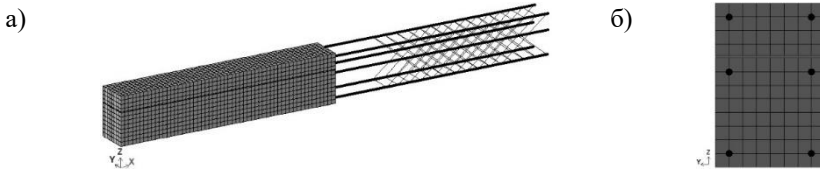


Рис. 1. Расчетная модель: общий вид (а) и поперечное сечение (б) ригеля при наклонном расположении стержней в двух взаимно ортогональных направлениях.

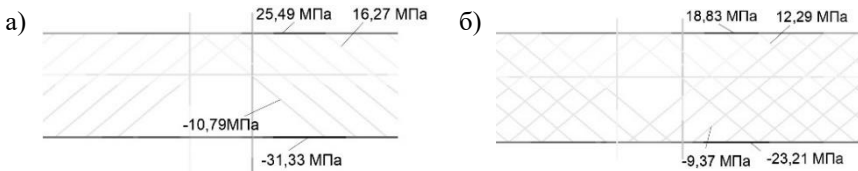


Рис. 2. Усилия в наклонной арматуре ригеля при ее расположении: а) в одном направлении; б) в двух направлениях.

Этот способ может быть использован для конструирования защиты таких элементов при особых воздействиях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Колчунов В.И., Скобелева Е.А., Коржавых А.И. К анализу деформирования и разрушения сложно напряженных железобетонных составных элементов по наклонному сечению // Строительство и реконструкция. 2010. № 1 (27). С. 23-28.
2. Mirzakhid Khamitovich Miralimov Nonlinear Analysis of Reinforced Concrete Structures Considering Plastic Deformation // Applied Mechanics and Materials: 802 (2015) 231-236.
3. Колчин Я.Е. Деформирование и разрушение зон контакта элементов составных железобетонных конструкций: дис. канд. техн. наук. – Орел: 2011. – 176 с.
4. Fedorova N.V., Gubanova M.S., Savin S.Yu. Deformation of intermediate zones of two-layers elements of reinforced concrete structures // IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series 1425 (2020) 012063.
5. Тамразян А.Г. Рекомендации к разработке требований к живучести зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С.77-83.
6. Колчунов В.И., Федорова Н.В. Некоторые проблемы живучести железобетонных конструктивных систем при аварийных воздействиях // Вестник НИЦ Строительство. 2018. № 1 (16). С. 115-119.

Студентка магистратуры 2 года обучения 1 группы ИСА Дмитриева А.Н.

Научный руководитель – канд. техн. наук Д.С. Дехтерев

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ОБСЛЕДОВАНИИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Значительную часть времени определения технического состояния конструкции занимает визуальное обследование, которое часто является неэффективным с точки зрения стоимости, безопасности, точности оценки и надежности.

Чтобы частично заменить визуальное обследование, проводимое человеком на месте, был предложен метод обнаружения дефектов и повреждений с применением нейросетевых технологий.

На данную тему существует ряд многочисленных научных исследований, доказывающих применимость метода в сфере строительства, например, в проектировании [1], оценке безопасности [2], в сметном деле [3] и анализе строительных конструкций [4, 5].

Для проведения исследования был выбран облачный продукт Google AutoML Vision, который позволяет обучать модели машинного обучения классификации изображений по тысячам категорий в соответствии с собственными определенными метками, а также автоматически подбирать нейронную сеть под конкретную задачу.

Методика обучения:

1. Классификация фотографий и распределение их по видам дефектов;
2. Формирование датасета (обучающей и проверочной выборки);
3. Обучение ИНС;
4. Тестирование обученной ИНС;
5. Оценка результатов.

Для проведения обследования было выбрано 8-ми этажное административное здание, предназначенное для размещения инспекции ФНС и расположенное в Дзержинском административном районе г. Ярославля.

Конструктивная схема здания – каркасная, выполненная из монолитного железобетона (бетона класса В25).

Для обучения был выбран, наиболее встречающийся вид дефектов - трещины с шириной раскрытия менее 3 мм. Данный дефект приводит к снижению долговечности и несущей способности здания, а также к аварийному состоянию, в случае расположения на опорных участках конструкций. После выбора объекта исследования и фотофиксации дефектов, был создан и загружен датасет в виде двух папок, архивированных в формате Zip и состоящих из 1000 фотографий, из

которых 500 – без трещин, 500 – с изображением трещин. Примеры фотографий представлены на рис. 1,2.



Рис. 1 «No cracks» (без трещин)

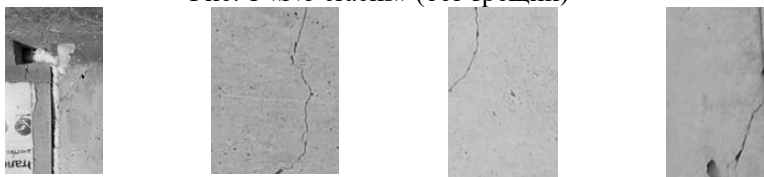


Рис. 2 «Cracks» (трещины)

При загрузке датасета AutoML Vision автоматически использовал 80% изображений для обучения, 10% для проверки и 10% для тестирования, так как ранее он не был разделен вручную.

Обучение модели длилось 8 часов, показатель средней точности определения составил 97,4%

После обучения проводилась проверка на новой тестовой выборке, которая составила 40 фотографий. В результате тестовых испытаний средняя точность обнаружения дефектов составила 83 %. Пример полученных результатов представлен в табл. 1



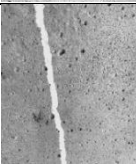
Заключение

Результаты тестирования показали корректный результат несмотря на то, что тестовые изображения были получены в различных условиях, включая сильное освещение, тень и размытость.

Однако, при расположении на изображениях конструкций следов похожих на трещины, таких как подтеков и стыков опалубки, модель показывала ложный результат в 36% случаев. Это значит, что при переобучении в обучающую выборку необходимо добавить больше фотографий с данными следами.

В будущем ИНС можно применять совместно с беспилотными летательными аппаратами, что актуально для обследования фасадов высотных зданий.

Результаты тестирования ИНС AutoML Vision

Тестируемое изображение	Прогноз	Вероятность прогноза	Правильный прогноз
	не трещины	0,607530	не трещины
	трещины	0,998142	трещины
	трещины	0,677121	не трещины

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Juszczyk M* Studies on the ANN implementation in the macro BIM cost analyzes // Scientific Review. Engineering and Environmental Sciences. - 2017. - №26. - С. 183-192.

2. *Тамразян А.Г.* Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня. Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.

3. *Xiong B., Newton S., Li V., Skitmore M., Xia B.* Hybrid approach to reducing estimating overfitting and collinearity // Engineering, Construction and Architectural Management. - 2019. - №26. - С. 154-160.

4. *Tamrazyan A.G.* The assessment of reliability of punching reinforced concrete beamless slabs under the influence of a concentrated force at high temperatures. Procedia Engineering (см. в книгах). 2016. Т. 153. С. 715-720.

5. *Tamrazyan A., Popov D.* Reduce of bearing strength of the bent reinforce-concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2017. С. 00162.

6. Дехтерев Д.С. Аналитическая оценка весомости влияния конструктивных параметров стыков колонн каркасных зданий на надежность соединения // Строительство и реконструкция. - 2019. - №2 (82).

НЕЛИНЕЙНАЯ ДЕФОРМАТИВНОСТЬ ПЛОТНЫХ СВЯЗЕЙ СДВИГА НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ МНОГОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ

Совместную работу сборных элементов обеспечивают конструкции стыков и связей между ними. Жесткость при расчетах обычно принимается постоянной, но современные исследования показывают, что введение нелинейной податливости для стыков, работающих на сдвиг, оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние [1-3].

Податливостью называется величина, обратная жесткости, которая равна вертикальному перемещению от единичного сдвигового воздействия.

В данной работе рассмотрена диафрагма с плотными связями – вертикальная несущая конструкция в виде столбов стеновых панелей, объединенных в плотную связями сдвига [4].

Определим продольную силу N , момент M и перерезывающую силу Q_{Π} в сечении $x=H=60$ м для диафрагмы из бетона класса В25.

Расчетная схема представлена на рис. 1.

Действие вертикальной центрально приложенной к столбам нагрузки соответствует [4].

I. Продольная сила определяется по [4]:

$$N = \frac{1}{\lambda^2 \cdot s} \cdot \left(\frac{m^3}{B} - \frac{m^B}{\bar{B}} \right) \left(x - \frac{sh\lambda x}{\lambda \cdot ch\lambda H} \right).$$

1. Податливость плотной связи определяется [4]:

$$s = \varphi \cdot h/b = 3,94 \cdot 10^{-9} \text{ м/Н},$$

где φ – коэффициент податливости связи на сдвиг, который принят по экспериментальному графику зависимости сдвигающего усилия от перемещения [5], $\varphi = 15,74 \cdot 10^{-9}$ м/Н для LS-3 ($Q=108$ кН, $\Delta=1,7$ мм);

h – расстояние между связями сдвига, $h=1,5$.

2. $B = 2,16 \cdot 10^{11}$ Н · м² – сумма изгибных жесткостей столбов диафрагмы.

3. Характеристика λ определяется по [4]:

$$\lambda = \sqrt{1/S(k + b/B)} = 0,097 \text{ 1/м},$$

где параметр k определяется по следующей зависимости:

$$k = (1 + \beta)/(EF \cdot b) = 9,26 \cdot 10^{-12} \text{ 1/Н} \cdot \text{м}.$$

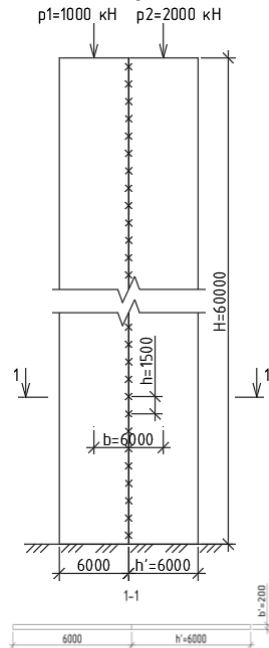


Рис. 1. Расчетная схема

$$4. \bar{B} = b/k = 6/9,26 \cdot 10^{-12} = 6,48 \cdot 10^{11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2.$$

5. m^a, m^b – моменты от внешней нагрузки. Так как нагрузка приложена в центрах тяжести столбов, то $m^a = 0$ кН.

Момент m^b определяется по [4]:

$$m^b = b \cdot (p_2^0 - \beta \cdot p_1^0) / (1 + \beta) = 499,98 \text{ кН},$$

где $p_1^0 = 166,67$ кН/м и $p_2^0 = 333,33$ кН/м – вертикальные нагрузки на первый и второй столб соответственно. Следовательно, $N = -1035,22$ кН.

II. Момент в i -том столбе определяется по [4], для одинаковых столбов:

$$M_1 = M_2 = 3105,67 \text{ кН} \cdot \text{м}.$$

III. \bar{Q}_n – перерезывающая сила определяется по [4], в заделке:

$$\bar{Q}_n = 0 \text{ кН}.$$

Аналогично определяются значение N , M и \bar{Q}_n для сечений $x=0$, $x=15$, $x=30$, $x=45$. Полученные данные сведены в табл. 1.

Таблица 1

Определение N , M , \bar{Q}_n

Сечение	x , м	$N(x)$, кН	$M1(x) = M2(x)$, кН·м	$\bar{Q}_n(x)$, кН
0	0	0,00	0,00	-31,06
1	15	-309,91	929,72	-30,83
2	30	-613,32	1839,95	-29,54
3	45	-887,37	2662,10	-23,96
4	60	-1035,22	3105,67	0,00

По полученным данным построены эпюры N , M , \bar{Q}_n (см. рис. 2).

Получив значение перерезывающего усилия $\bar{Q}_n = -23,96$ кН для $x=45$ м выполнен перерасчет податливости [5]. Усилию 23,96 кН соответствует перемещение $\Delta=0,014$ мм, тогда $\varphi = 5,84 \cdot 10^{-10}$ м/Н. По полученному φ определены новые N , M , \bar{Q}_n и произведено их сравнение со значениями предыдущего этапа расчета. Затем по новому значению \bar{Q}_n аналогично определено φ и выполнена новая итерация. Алгоритм выполняется до тех пор, пока разница перерезывающих усилий \bar{Q}_n для двух смежных этапов будет не более 5%. Полученные значения сведены в табл. 2.

Таблица 2

Зависимость N , M , \bar{Q}_n от коэффициента податливости φ

№ п/п	φ , м/Н	N , кН	M , кНм	\bar{Q}_n , кН	$\Delta \bar{Q}_{n(i-1), \bar{Q}_{ni}}$, %
1	$15,74 \cdot 10^{-9}$	-887,37	2662,10	-23,96	-
2	$5,84 \cdot 10^{-10}$	-937,44	2812,32	-31,23	30,30
3	$5,44 \cdot 10^{-10}$	-937,45	2812,34	-31,24	0,03 < 5

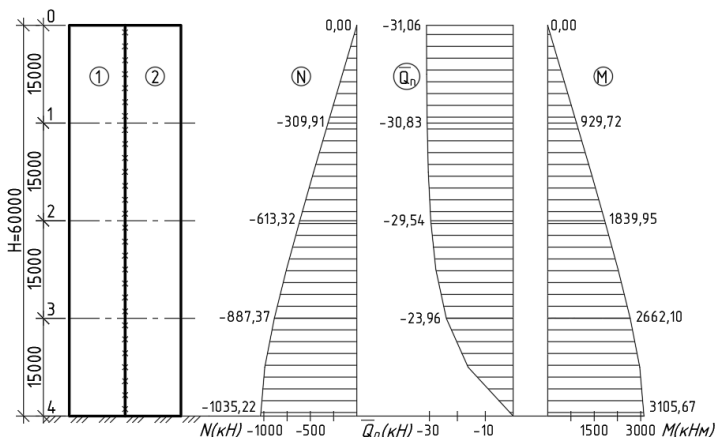


Рис. 2. Схема диафрагм и эпюры N , M , \bar{Q}_n

Из табл. 2 видно, что разница для двух смежных значений \bar{Q}_n меньше 5% достигается на третьем этапе. Продольные усилия увеличились на 5,6%, изгибающие моменты – на 5,6%, перерезывающие усилия – на 30,4%. Это связано с уменьшением податливости по данным [5].

Обзор разброса определения податливости связей сдвига дан в работе [1]. Достоверность определения податливости связей сдвига существенно влияет на напряженно-деформированное состояние диафрагмы жесткости, поэтому необходимо учитывать нелинейные деформирования связей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Люблинский В.А., Стручков С.В., Задорина Л.В. К определению податливости плотных связей панельных многоэтажных зданий при кручении несущей системы // Актуальные проблемы строительной отрасли и образования. Москва: Из-во МИСИ-МГСУ, 2022. С. 107-112.
2. Люблинский В.А., Томина М.В. Экспериментальное исследование прочности и податливости вертикального сварного стыка // Системы. Методы. Технологии. 2018. №3. С. 154-158.
3. Тамразян А.Г., Фаликман В.Р. Основные требования к проектированию железобетонных конструкций по модельному кодексу ФИБ. Строительство и реконструкция. 2016. № 3 (65). С. 71-77.
4. Дроздов П.Ф. Конструирование и расчет несущих систем многоэтажных зданий и их элементов // М., Стройиздат, 1977 – 223 с.
5. Дербенцев И.С., Тарасов М.В., Карякин А.А. Натурные испытания вертикальных шпоночных стыков железобетонных стеновых панелей с петлевыми гибкими связями на сдвиг // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». 2021. Т. 21. №3. С. 13-22.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ РАБОТЫ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ НАГРУЗКАХ БЛИЗКИХ К РАЗРУШАЮЩИМ

При действии длительных нагрузок на конструкцию, в ней развиваются упругие и неупругие деформации (рис. 1.). Развитие в бетоне неупругих деформаций объясняется таким явлением как ползучесть бетона. Деформации ползучести относятся к силовому виду деформаций бетона, то есть развиваются исключительно из-за влияния силовых факторов.

Широкое применение бетона и железобетона в строительстве делает очень важным при проектировании учет длительных процессов [1,2,3,4,5].

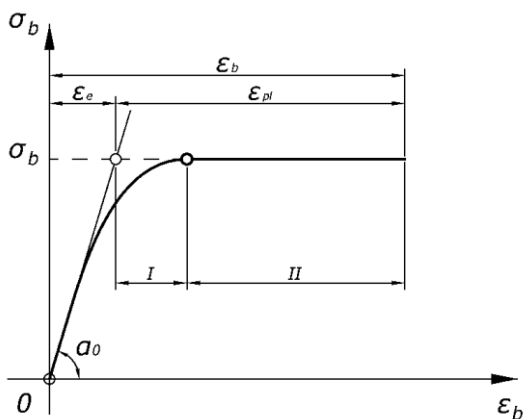


Рис.1. Деформации бетона при длительном действии нагрузки.
Неупругие деформации: I – пластическая часть; II – вязкая часть

Ползучесть бетона и изменчивость во времени его механических свойств в ряде случаев существенно влияют на напряженно-деформированное состояние бетонных и железобетонных конструкций [2,4].

Для более подробного изучения влияния действия длительных нагрузок близких к разрушающим на железобетонные конструкции был проведен ряд соответствующих исследований [5-7].

Испытания проводились при различных уровнях нагрузки, приложенных к опытным образцам железобетонных балок. План испытаний и количество железобетонных балок представлен в таблице 1.

План испытаний и количество железобетонных балок

Марка образцов	Кол-во, шт.	Вид испытаний	Уровень длительного нагружения
			$\eta = P_{long}/P_{des}$
Б1к-1,2	2	Кратковременное в начале длительного испытания	Шаг нагружения (0,05...0,1) P_{des}
Б2д-1,2	2	Длительное испытание	0.8
Б3д-1,2	2	Длительное испытание	0.9
Б4д-1,2	2	Длительное испытание	0.95
Всего:	8		

Для опытных образцов был подобран состав бетона по весу (класс бетона В20): В/Ц : П/Ц : Щ/Ц = 0,67: 2,375: 3.262. При этом расход цемента составил Ц = 336 кг/м³; расход воды В = 225 л/м³; - расход песка П = 798 кг/м³; расход щебня Щ = 1096 кг/м³.

Мелкий заполнитель: песок кварцевый средней крупности с модулем крупности $M_{кр} = 2$ и водопотребностью 7%, истинная плотность $\rho_{п} = 2650$ кг/м³, насыпная плотность $\rho'_{п} = 1470$ кг/м³. Крупный заполнитель: гранитный щебень с предельной крупностью 10 мм, истинная плотность $\rho_{щ} = 2800$ кг/м³, насыпная плотность $\rho'_{щ} = 1480$ кг/м³. В качестве добавки применялся суперпластификатор С-3 в количестве 1 % от массы цемента.

Рабочая арматура балок принята класса А500С в соответствии с ГОСТ Р 52544 2006.

На рисунке 2 представлены результаты испытания балок на длительную нагрузку.

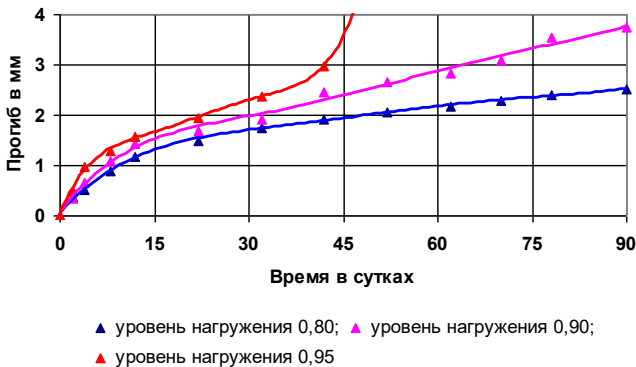


Рис.2. Зависимость прогибов балок от времени

Можно увидеть, что при уровнях нагружения соответствующих 80%

(0,8) и 90% (0,9) от разрушающих, увеличение прогибов происходит равномерно при постоянной нагрузке в течение 90 суток. При уровне нагружения равном 95% (0,95) происходит резкое увеличение прогибов в промежутке 30-45 суток.

На основе результатов испытания балок на длительную нагрузку можно сделать вывод, что при уровне нагружения 0,8 идет равномерное линейное нарастание прогибов. При уровне нагружения 0,9 увеличение прогибов происходит линейно, но, как и при уровне нагружения 0,95 происходят необратимые процессы в виде деструкции бетона вследствие прогрессирующей ползучести. Микротрещины, образующиеся под действием постоянной длительной нагрузки, при высокой интенсивности увеличиваются и появляются на поверхности балок в виде видимых трещин. При уровне нагружения 0,95 была зафиксирована стадия разрушения.

Заключение

Увеличение прогиба при уровне нагружения 0,95 в сравнении с уровнем нагружения 0,8 составило 24%. При сравнении с уровнем нагружения 0,9 – 75%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тамразян А.Г.* Динамическая устойчивость сжатого железобетонного элемента как вязкоупругого стержня. Вестник МГСУ. 2011. № 1-2. С. 193-196.
2. *Истомин А.Д.* Деформации ползучести бетона при сжатии в условиях малоциклового силового и температурного нагружения // Вестник МГСУ, №2, Т. 1, 2011. с. 142-144
3. *Истомин А.Д., Беликов Н.А.* Зависимость границ микротрещинообразования бетона от его прочности и вида напряженного состояния // Вестник МГСУ, №2, Т.1, 2011. С. 159-162.
4. *Тамразян А.Г., Филимонова Е.А.* О влиянии снижения жесткости железобетонных плит перекрытий на несущую способность при длительном действии нагрузки // Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 30-32.
5. *Карпетян К. С.* Ползучесть бетона при высоких напряжениях // «Изв. АН Армянской ССР. Серия физ.-матем., естеств. и техн. наук», т. VI, № 2, 1953.
6. *Тамразян А.Г., Филимонова Е.А.* Рациональное распределение жесткости плит по высоте здания с учетом работы перекрытия на сдвиг. Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 84-90.
7. *Tamrazyan A., Popov D.* Reduce of bearing strength of the bent reinforce-concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2017. С. 00162.

ДЕФОРМИРОВАНИЕ И РАЗРУШЕНИЕ ПЛАТФОРМЕННОГО СТЫКА В КАРКАСНОМ МНОГОЭТАЖНОМ ЗДАНИИ ПРИ ЗАПРОЕКТНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Статья посвящена численному анализу сборно-монолитного платформенного стыка стеновых панелей и многопустотных панелей перекрытий. В последние годы были разработаны и запатентованы ряд новых типов платформенного стыка, например Патент РФ № 2276712 Платформенный сборно-монолитный стык, Патент 2589779 Платформенный сборно-монолитный стык.

В известных научных публикациях приведены результаты исследования прочности и деформативности конструкций платформенных стыков [3-5]. Однако, эти исследования относятся к деформированию таких конструкций при проектных нагрузках. В связи с введением нового нормативного документа СП 385.1325800.2018 необходимы исследования по изучению особенностей силового сопротивления таких конструкций при особых запроектных воздействиях.

Для оценки деформирования и разрушения платформенного стыка при таких воздействиях использован конечно-элементный метод, с комбинацией расчетных моделей, до и после трещинообразования в железобетоне. С учетом опыта ранее проведенных отечественных и зарубежных исследований [3-10] в основу расчетной модели для анализа напряженно-деформируемого состояния рассматриваемой конструкции платформенного сборно-монолитного стыка была принята плоская конечно-элементная модель.

Расчет был выполнен в программном комплексе ЛИРА САПР. Создано несколько вариантов модели для сравнения и анализа результатов расчета в предельном состоянии и запредельном состояниях (Рис. 1). При моделировании панелей, многопустотных плит перекрытия и бетона замоноличивания стыка были использованы четырехугольные КЭ типа 230 размерами 5×5 мм. Растворные швы по верхней и нижней граням размерами 5×2.5 мм. Материал для стеновых панелей был принят бетон с классом прочности В30, материал многопустотных плит перекрытий был заложен В20, материал заполнения стыка замоноличивания - бетон класса В30, растворные швы принимались из бетона В15. Продольная и поперечная арматура моделировалась стержневыми конечными элементами типа 201 и диаметром 12 мм. Расчетная схема формировалась из плоских физически нелинейных КЭ балки-стенки типа 230. Для моделирования физической нелинейности поведения материалов конструкции платформенного сборно-

монолитного стыка был применен 31-ый экспоненциальный закон деформирования для расчетных характеристик железобетона.

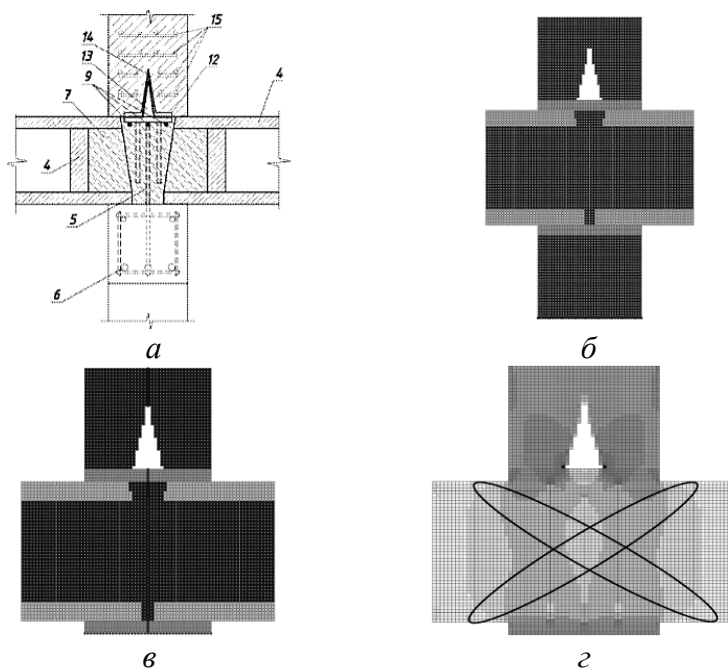


Рис. 1. Конструкция, расчетные модели и результаты расчета платформенного стыка: а-схема конструкции; расчетная схема в предельном (б) и запредельном (в) состоянии; z-картина напряженного -деформированного состояния

При моделировании нагрузки, их значения и схемы приложения определялись в соответствии с требованиями СП 385.1325800.2018.

По результатам анализа результатов расчета полученного напряженного состояния при проектных и запроектных воздействиях получены характерные для платформенного стыка картины главных напряжений и соответственно схемы трещин по схеме «конверта». (см.рис.1 z).

Этим анализом установлено также, что конструкция платформенного сборно-монолитного стыка, защищенного патентом РФ №2589779 [2], требует дополнительного изучения при различных вариантах его исполнения соединяемых и анкерующих элементов, обеспечивающих работу стыка при внезапном изменении силовых потоков в конструктивной системе каркаса здания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Патент РФ на изобретение № 2276712 МПК E04B 1/61, E04B 5/02. Платформенный сборно-монолитный стык [Текст] / Колчунов В.И., Петров В.Н., Клюева Н.В., Мелешкова Е.А., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Юго-Западный Государственный Университет». - № 2005100242/03 заявл.11.01.2005; опубл. 20.05.2006, Бюл. №14. – 5 с.

2. Пат. 2589779 Российская Федерация, МПК E04B 1/38. Платформенный сборно-монолитный стык [Текст] / Колчунов В.И., Клюева Н.В., Филатова С.А., Мартыненко Д.В., заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «Юго-Западный Государственный Университет». - №2015113471/03 заявл. 13.04.2015; опубл. 10.07.2016, Бюл. №19. – 7 с.

3. Колчунов Вл.И., Мартыненко Д.В. Прочность и деформативность сборно-монолитных платформенных стыков панельных зданий // Строительство и реконструкция. 2019. № 2. С. 26-34.

4. Колчунов Вл.И., Мартыненко Д.В. Деформирование и трещинообразование конструкции платформенного стыка в сборно-монолитном каркасе здания // Строительство и реконструкция. 2020. № 4. С. 38-47.

5. Емельянов С.Г., Федорова Н.В., Колчунов В.И. Особенности проектирования узлов конструкций жилых и общественных зданий из панельно-рамных элементов для защиты от прогрессирующего обрушения // Строительные материалы. 2017. № 3. С. 23–27.

6. Y. Kurama et al. Seismic-Resistant Precast Concrete Structures: State of the Art // Journal of Structural Engineering. 2018. 144(4),03118001. DOI:10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001972

7. Ercan Yuksel, H. Faruk Karadogan, I. Engin Bal, Alper Ilki, Ahmet Bal, Pinar Inci Seismic behavior of two exterior beam–column connections made of normal-strength concrete developed for precast construction // Engineering Structures. 2015. Volume 99. Pp. 157-172.

8. Bournas, D.A., Negro, P., Molina, F.J. Pseudodynamic tests on a full-scale 3-storey precast concrete building: Behavior of the mechanical connections and floor diaphragms // Engineering Structures. 2013. Volume 57. Pp. 609-627

9. Колчунов В.И., Осовских Е.В., Фомичев С.И. Прочность железобетонных платформенных стыков жилых зданий с перекрестно-стеновой системой из панельных элементов // Жилищное строительство. 2009. № 12. С. 12-16.

10. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.

Студентка магистратуры 2 года обучения 1 группы ИСА Краснова К.В.

К РАСЧЕТУ ИЗГИБАЕМЫХ СТАЛЕБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Метод расчета сталежелезобетонных конструкций на изгиб с использованием нелинейной деформационной модели основан на использовании диаграмм деформирования материалов. Диаграммы устанавливают связь между напряжениями и относительными деформациями, которые зависят от свойств материалов. Это позволяет учитывать множество различных факторов, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние элемента, и рассчитывать конструкцию на разных этапах ее нагружения [1-5].

Одним из видов сталежелезобетонных элементов являются железобетонные балки с жестким армированием [6]. Цель исследования заключается в оценке влияния выбора диаграммы деформирования бетона на результаты расчета таких конструкций.

Для выполнения сравнительного анализа рассматривались результаты данных [7-9]. Их суть заключалась в испытании на изгиб однопролетных сталебетонных балок таврового сечения, армированных различными по высоте двутавровыми металлическими прокатными профилями (№12, №14, №18, №24) и тонкостенным сварным двутавром из листового железа высотой 240 мм. Плита балок армировалась сеткой из арматурных стержней $\varnothing 6$ мм с шагом 200мм. В балках – образцах измерялись деформации в бетоне и арматуре с помощью тензометров при действии кратковременной статической нагрузки и определялся разрушающий момент.

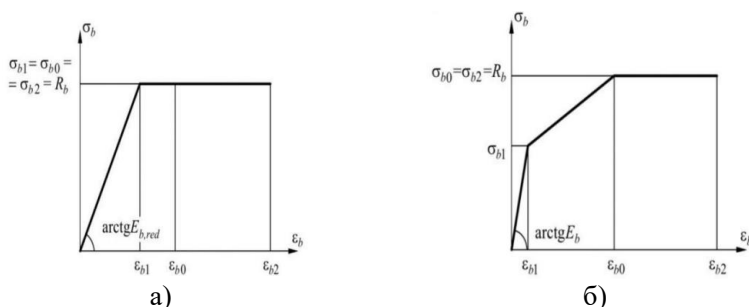


Рис. 1. Кусочно-линейные диаграммы деформирования бетона: а) двухлинейная; б) трехлинейная

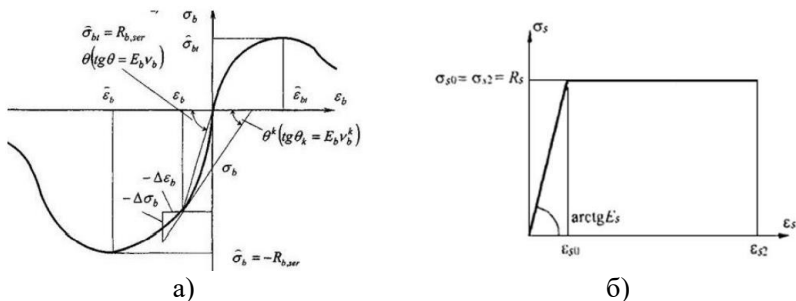


Рис. 2. Диаграммы деформирования бетона и арматуры: а) криволинейная диаграмма бетона; б) двухлинейная диаграмма арматуры

Необходимые теоретические расчеты выполнялись в связке AutoCAD и Microsoft Excel по нелинейной деформационной модели с использованием двухлинейной (1), трехлинейной (2) и криволинейной (3) диаграммам для бетона, для арматуры – двухлинейной диаграммы (рис. 1, 2). Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ опытных данных и результатов расчета с использованием нелинейной деформационной модели

Марка образца	M_{ult}^{on} , кН·м	M_{ult}^T , кН·м			$\frac{M_{ult}^T - M_{ult}^{on}}{M_{ult}^{on}} \cdot 100\%$		
		(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
1	52,9	78,2	77,8	77,7	47,83	47,07	46,88
2а	65,7	90,5	90,2	89	37,75	37,29	35,46
2б	68,16	90,5	90,2	89	32,78	32,34	30,58
3а	81,4	94,8	94,8	93,8	16,46	16,46	15,23
3б	90,71	94,8	94,8	93,8	4,51	4,51	3,41
4	95,62	101,2	101,0	100,2	5,84	5,63	4,79
5а	102,97	90	90	88,5	-12,60	-12,60	-14,05
5б	93,16	90	90	88,5	-3,39	-3,39	-5,00
6а	93,16	96	96	94,5	3,05	3,05	1,44
6б	95,62	96	96	94,5	0,40	0,40	-1,17
7	83,3	90,6	90,2	90,2	8,76	8,28	8,28
8а	106,8	114,5	114,3	114,2	7,21	7,02	6,93
8б	91,2	108	108	107,5	18,42	18,42	17,87
9а, 9б	129,94	111	111	110,7	-14,58	-14,58	-14,81
10а	147,1	120	119,9	119,5	-18,42	-18,49	-18,76
10б	152,5	120	119,9	119,5	-21,31	-21,38	-21,64
11а	179,4	159,8	159,5	159,5	-10,93	-11,09	-11,09
11б	169,17	128,9	128,6	128,5	-23,80	-23,98	-24,04
12а	193,1	169,2	169	168,8	-12,38	-12,48	-12,58
12б	196,13	169,2	169	168,8	-13,73	-13,83	-13,93
13а	163,8	154,6	154,1	154,1	-5,62	-5,92	-5,92
13б	183,4	155,1	154,4	154,3	-15,43	-15,81	-15,87
14а	143,1	124,3	123,9	123,8	-13,14	-13,42	-13,49
14б	133,8	124,3	123,9	123,8	-7,10	-7,40	-7,47

На основании результатов расчета несущей способности с использованием нелинейной деформационной модели можно сделать следующие выводы:

- наибольшие расхождения теоретических результатов с опытными данными обнаружено для балок, армированных двутавром №12, в которых разрушение характеризовалось скалыванием бетона и в арматуре не достигался предел текучести (30 – 47%);
- значения разрушающего момента, полученные по двухлинейной, трехлинейной и криволинейной диаграммам, отличаются друг от друга не более, чем на 0,5%.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Тамразян А.Г., Черник В.И.* Диаграмма деформирования бетона, ограниченного дискретной композитной облойкой // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 43-53.

2. *Манаенков И.К.* Экспериментальные исследования железобетонных балок с косвенным армированием сжатой зоны поперечными сварными сетками Известия высших учебных заведений. // Технология текстильной промышленности. 2018. № 5 (377). С. 243-247.

3. *Manaenkov I., Grezeva A.S., Zinoveva E., Korenkov P.* Calculation of deformations of concrete with indirect reinforcement according to limit state design // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. 869:052033

4. *Manaenkov I.K., Savin S.U.* Numerical analysis of the ultimate compressibility of concrete with indirect reinforcement for plotting a stress-strain diagram // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. 1030:012090.

5. *Манаенков И.К., Курнавина С.О.* Построение диаграммы сжатия для бетона с косвенным армированием в рамках теории предельных состояний // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 40-47.

6. СП 266.1325800.2016 «Конструкции сталежелезобетонные. Правила проектирования»

7. *Тамразян А.Г.* Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.

8. *Тамразян А.Г., Филимонова Е.А.* Рациональное распределение жесткости плит по высоте здания с учетом работы перекрытия на сдвиг. Вестник МГСУ. 2013. № 11. С. 84-90.

9. *Tamrazyan A., Popov D.* Reduce of bearing strength of the bent reinforce-concrete elements on a sloping section with the corrosive damage of transversal armature. В сборнике: МАТЕС Web of Conferences. 2017. С. 00162.

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВАРИЙНЫХ УДАРНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫЕ ПЕРЕКРЫТИЯ

Аварийный ударные воздействия являются актуальными для исследований, поскольку число аварий и катастроф в строительстве имеет тенденцию к увеличению. Современный уровень строительной науки позволяет решать достаточно широкий круг динамических задач. Одной из таких является локальный удар, который можно в расчетной схеме заменить сосредоточенным импульсом силы или нагрузки, распределенной в окрестностях ее действия. Для такого расчетного случая характерна аварийная ситуация, связанная, например, с падением конструкции на перекрытие в период строительства, в частности при монтаже. Однако решение динамических задач в объемной постановке требует большой вычислительной емкости, поэтому представляется актуальным упрощение расчетных моделей с целью их возможного применения для расчетов с учетом безопасности [1-3] или вариантного проектирования [4-8]. Рассмотрим моделирование монолитной сплошной железобетонной плиты на основе пластинчато-стержневой модели (рис. 1).

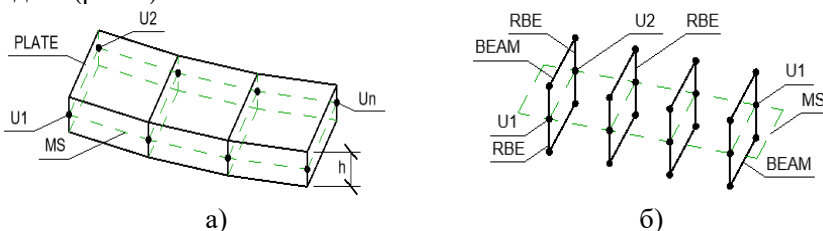


Рис. 1. Моделирование монолитной сплошной железобетонной плиты на основе пластинчато-стержневой модели (а) и моделирование дискретной арматуры железобетонной плиты (б)

Бетон моделируется элементами типа PLATE, к узлам (U1-Un) которых с помощью жестких элементов RBE присоединяются арматурные стержни, моделируемые элементами типа BEAM. Величина элементов RBE определяется расстоянием $(h/2-a)$ от срединной поверхности плиты. Деформации бетона описываются модифицированной моделью Друкера-Прагера, арматура деформируется упруго-пластично по билинейной диаграмме. Задача решается на основе численного интегрирования уравнений движения:

$$M\ddot{Z}(t) + C\dot{Z}(t) + KZ(t) = F(t) + G(t) * \chi$$

где Z – перемещение (\dot{Z} – скорость, \ddot{Z} – ускорение); M , C , K – матрицы масс, демпфирования и жесткости; t – фактор времени; F – вектор внешней нагрузки, приведенный к узлам U (см. рис. конечно; G – вектор сил гравитации, ударяющего элемента; χ – функция Хевисайда. Рассматриваемая плита показана на Рис. 2. Схема сформирована в программном комплексе FemapSimcenter. Данный комплекс целесообразно применять для анализа напряженно-деформированного состояния методом конечных элементов (МКЭ) при расчете конструкций произвольными динамическими нагрузками.

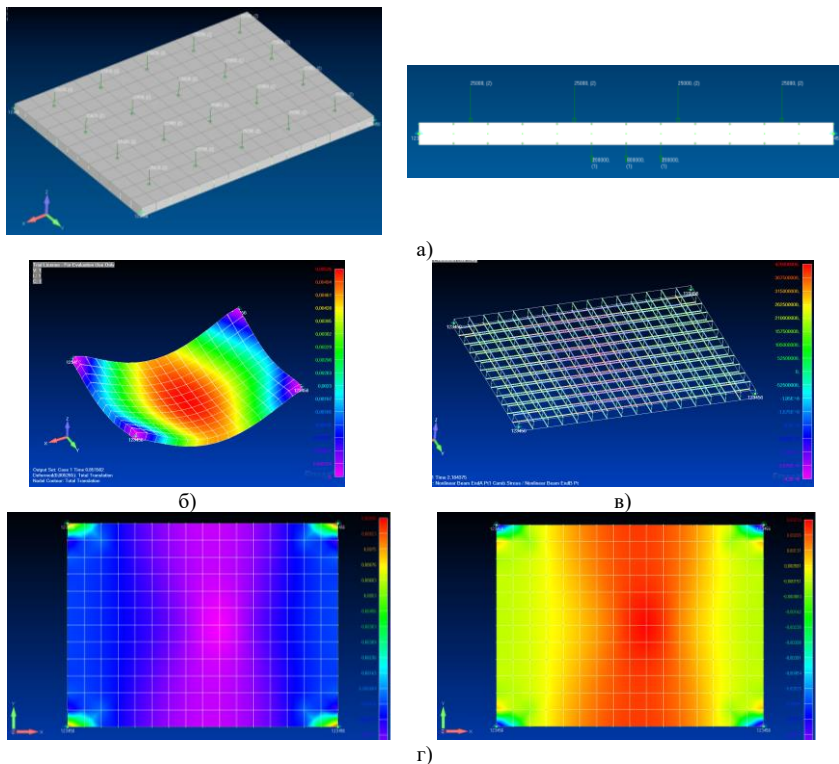


Рис. 2. Исходные данные и результаты расчета: а) расчетная схема; б) деформированная схема; в) максимальные напряжения в арматуре; г) деформации в бетоне верхнего (слева) и нижнего (справа) волокна

Расчет в Siemens FEMAP показал, что предложенный подход позволяет получать развернутую информацию о компонентах НДС железобетонных плит при импульсных ударных воздействиях (рис. 3) и может быть использован для упрощенной оценки степени опасности нагрузок, действующих на конструкции.

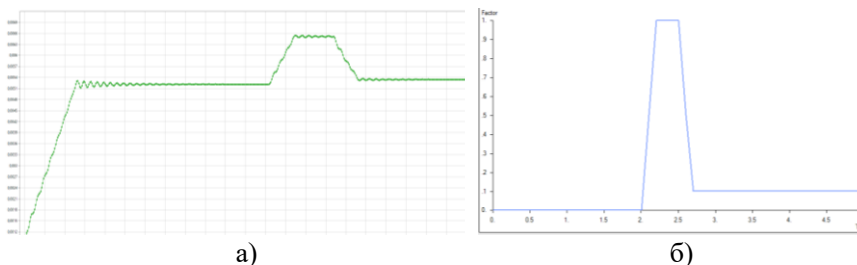


Рис. 3. Изменение перемещений во времени (а); изменение импульсной ударной нагрузки во времени (б)

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.

2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.

3. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.

4. Alekseytsev A. V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.

5. Алексейцев А.В. Двухэтапный синтез структурных конструкций с использованием генетического алгоритма и тетраэдризации Делоне // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2013. Т. 9. № 4. С. 83-91.

6. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

7. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002.

8. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.

К РАСЧЕТУ КОРОТКИХ ВНЕЦЕНТРЕННО-СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Современный уровень развития строительной отрасли, рост этажности и усложнение проектируемых конструктивных узлов возводимых зданий требуют применения более универсальных методов оценки напряженно-деформированного состояния (НДС) железобетонных элементов.

Нелинейная деформационная модель (НДМ) – метод расчета железобетонных конструкций, основанный на использовании действительных диаграмм деформирования бетона и арматуры и гипотезы плоских сечений.

В настоящее время объединение расчетной и физической моделей является одной из важных задач в области расчета железобетона [1-6]. Исследование несущей способности и деформативности железобетонных балок при различных параметрах их поперечного сечения и различных диаграммах деформирования является важным направлением и способствует повышению надежности и эффективности проектирования [8-14].

В качестве опытных исходных данных для расчета были приняты данные испытаний железобетонных образцов, изложенные в работе «Расчет железобетонных элементов двутаврового сечения на косое внецентренное сжатие с малыми эксцентриситетами» Торяник М.С. и Вахненко П.Ф. [7] Рассмотрены колонны из тяжелого бетона с различным армированием.

Для проведения расчета по нелинейной деформационной модели приняты следующие расчетные диаграммы деформирования: для бетона – двухлинейная, трехлинейная, криволинейная, для арматуры - двухлинейная

Результаты свидетельствуют о хорошем соответствии вычисленной несущей способности балок и экспериментальных данных. Значения разрушающей нагрузки не превышают опытных значений для всех рассмотренных образцов. Расхождение опытных и теоретических значений составило от -7,1% до -17,7%. Средняя разница составила -12,4.

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Сопоставление опытных данных и вычисленных по НДМ показано на рисунке 1.

Таблица 1

Результаты расчета несущей способности и сравнение с опытными значениями

№ колонн	Разрушающая нагрузка			
	Экспериментальная N_b , т	Теоретическая		
		Двухлинейная, т	Трёхлинейная, т	Криволинейная, т
ДК-1	100,1	82,4	82,6	82,5
ДК-2	105,0	88,3	88,5	88,3
ДК-3	107,9	100,1	100,3	99,9
ДК-4	102,3	90,9	91,3	90,9
ДК-5	81,2	72,6	72,9	72,8
ДК-6	105,7	93,8	94	93,8
ДК-7	95,3	80	80,5	80,5
ДК-8	98,3	87,4	88,2	88,2

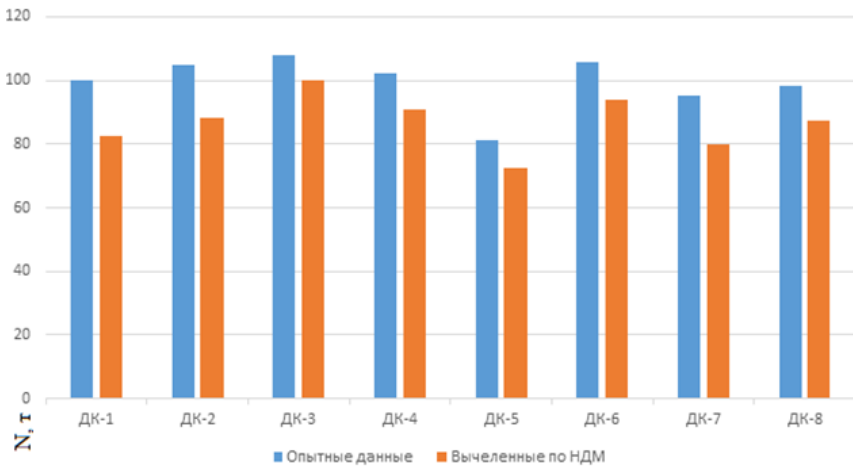


Рисунок 1 – Сопоставление опытных данных [7] и вычисленных по НДМ

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Черник В.И. Диаграмма деформирования бетона, ограниченного дискретной композитной обоймой // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 43-53.

2. Колчунов В.И., Колчунов В.И., Федорова Н.В. Деформационные модели железобетона при особых воздействиях // Промышленное и гражданское строительство. 2018. № 8. С. 54-60.
3. Манаенков И.К. Экспериментальные исследования железобетонных балок с косвенным армированием сжатой зоны поперечными сварными сетками Известия высших учебных заведений. // Технология текстильной промышленности. 2018. № 5 (377). С. 243-247.
4. Manaenkov I., Grezeva A.S., Zinoveva E., Korenkov P. Calculation of deformations of concrete with indirect reinforcement according to limit state design // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. 869:052033
5. Manaenkov I.K., Savin S.U. Numerical analysis of the ultimate compressibility of concrete with indirect reinforcement for plotting a stress-strain diagram // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. 1030:012090.
6. Манаенков И.К., Курнавина С.О. Построение диаграммы сжатия для бетона с косвенным армированием в рамках теории предельных состояний // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 40-47.
7. Торяник М.С. Расчет железобетонных элементов двутаврового сечения на косое внецентренное сжатие с малыми эксцентриситетами. // Бетон и железобетон. -1968., №6 44-47 с.
8. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений. Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.
9. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий. Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.
10. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона. Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 26-27.
11. Тамразян А.Г., Аветисян Л.А. Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагружениях в условиях огневых воздействий. Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 24-28.
12. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.
13. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41-44.
14. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.

Студентка магистратуры 2 года обучения 2 группы ИСА Мироненко Е.А.

Научный руководитель - доц., к-т. техн. наук, доц. А.Н. Малахова

ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ НЕСУЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ МОНОЛИТНЫХ ЗДАНИЙ

В своде правил по проектированию монолитных конструктивных систем СП 430.1325800.2018 для несущих элементов монолитных многоэтажных зданий рекомендуется не только ориентироваться на допустимые по несущей способности, деформациям и ширине раскрытия трещин конструктивные решения, но также назначать несущие элементы монолитных конструктивных систем с учетом содержащихся в нормах оптимальных конструктивных параметров, которые в свою очередь отражают опыт проектирования, исследования и мониторинга монолитных многоэтажных зданий.

Проблема поиска оптимальных конструктивных решений для несущих элементов проектируемых зданий и сооружений весьма актуальна и достаточно хорошо освещена в научно-технической литературе.

В [1] приводится обзор современных подходов к оптимизации конструктивных решений. В [2] дается описание современного подхода к оптимизации строительных конструкций с учетом четырех групп критериев, распространяющихся на основные этапы жизненного цикла зданий.

Для решения подобных задач рекомендовано применение высокопроизводительных генетических алгоритмов, в которых применен принцип равновесия. В [3] описано использование итерационной схемы эволюционного моделирования для оптимизации конструктивного решения монолитных железобетонных плит перекрытий по стоимостному критерию и ограничениям, применяемым при расчете прочности и пригодности плит перекрытий к нормальной эксплуатации. В [4] рассматривается традиционный подход к оптимальному проектированию строительных конструкций, который основывается на решении прямых задач расчета и конструирования несущих элементов зданий.

Эти задачи могут иметь достаточно много допустимых решений, но с учетом наложения ограничений, например, по использованию прочностных классов бетона и арматуры, по возможным размерам расчетных поперечных сечений, по длине (высоте) конструкции исходной габаритной схемы здания, по действующим нагрузкам, конструктивное решение несущих элементов здания будет приближаться к оптимальному. При этом имеет место использование

принципа выявления предпочтений относительно рассматриваемых ограничительных критериев.

В [5] предлагается выполнять оптимизацию на основе численных методов нелинейного математического программирования с набором методов условной и безусловной минимизации, реализуемых на итерациях поискового процесса оптимизации. В [6-8] описывается использование методик для реализации технико-экономических подходов к оптимизации конструктивных решений зданий и сооружений.

Статья посвящена поиску оптимальных решений для несущих элементов, наиболее распространенных в практике строительства монолитных многоэтажных каркасных зданий с плоскими перекрытиями. Принимается во внимание техническая сторона оптимизации, связанная с назначением конструктивных параметров для основных несущих элементов здания – плоских плит перекрытий и колонн, в определенном диапазоне параметров и в соответствии с нормативными требованиями СП 430.1325800.2018 и с учетом результатов расчетов, предпринятых для поиска оптимальных решений.

Плоские перекрытия многоэтажных монолитных зданий применяются при пролетах 6...8 м. Они назначаются толщиной, равной $1/30$ расчетного пролета, выбранной из ряда величин: $h=16, 18, 20, 22, 24, 25$ см. С учетом ориентации на материалы массового применения при выборе классов бетона и арматуры для плиты принят класс бетона В30, для арматуры – класс А500.

Нагружение плиты перекрытия представлено собственным весом плиты, который меняется при изменении ее толщины; весом пола, перегородок и временной нагрузкой для перекрытий офисно-административных зданий (2,0 кПа), которые остаются постоянными для расчетных вариантов в рассматриваемой области: $6 \text{ м} \leq L \leq 8 \text{ м}$, $16 \text{ см} \leq h \leq 25 \text{ см}$. К конструктивным параметрам относится также процент армирования $\mu\%$, который определяется по результатам расчета.

Расчеты по несущей способности и эксплуатационной пригодности плиты перекрытия, как изгибаемого элемента, выполнены в соответствии с требованиями СП 63.13330.2018. Результаты расчета представлены на рис. 1.

Аналогичным образом могут быть выполнены расчеты для оптимизации конструктивного решения колонн здания, принимая во внимание конструктивные параметры рассмотренного плоского перекрытия и размеры поперечного сечения колонн 40×40 см и 50×50 см. При этом рассматривается только вертикальная сжимающая нагрузка N на колонны, так как горизонтальная нагрузка для невысоких административно-офисных зданий может быть воспринята стенами лестнично-лифтовых шахт. Процент армирования колонн ограничивается областью $0,2..0,55 \leq \mu\% \leq 5,0$.

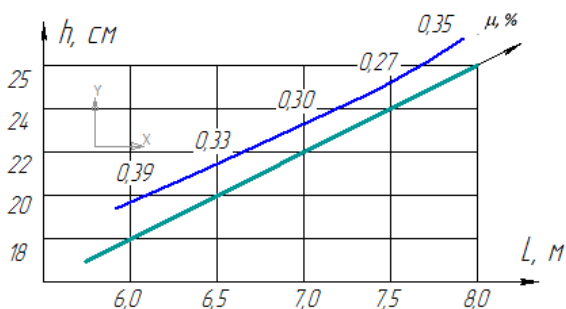


Рис. 1. График для выбора оптимальных конструктивных параметров плоского монолитного перекрытий многоэтажных зданий

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений. – Вестник МГСУ, 2020, №1, С.12-30.

2. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации. – Промышленное и гражданское строительство, 2019, №7, С.18-22.

3. Тамразян А.Г., Коновалова О.О. Оптимизация проектных параметров опертых по контуру монолитных перекрытий с использованием генетических алгоритмов. – В сборнике Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения. Материалы Международных академических чтений. 2020, С.115-122.

4. Безделов В.В., Дмитриева Т.Л. Использование многометодной стратегии оптимизации в проектировании строительных конструкций. – Известия высших учебных заведений. Строительство, 2010, №2, С.90-95.

5. Шевелев А.С. Использование программных продуктов при расчете строительных конструкций как средство оптимизации расходов в строительстве. – Строительство и реконструкция, 2015, №5, С.107-111.

6. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий. Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.

7. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона. Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 26-27.

8. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ЛЕСТНИЦЫ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ НЕСУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

Лестницы с криволинейными несущими элементами почти не представлены в нормативно-технической литературе. Они, по сравнению с распространенными в практике проектирования двухмаршевыми прямыми лестницами, являются более сложными, как по компоновке, так и по построению расчетных моделей при численных расчетах лестниц. Поэтому рассмотрение в статье вопросов, относящихся к проектированию лестниц с криволинейными маршами является весьма актуальным.

На рис. 1 приведен пример внешнего вида железобетонной лестницы с криволинейными маршами, а также пример построения геометрии лестницы с двумя криволинейными маршами и промежуточной площадкой на отметке +2,10 м, расположенными в пределах первого этажа общественного здания высотой 4,35 м.

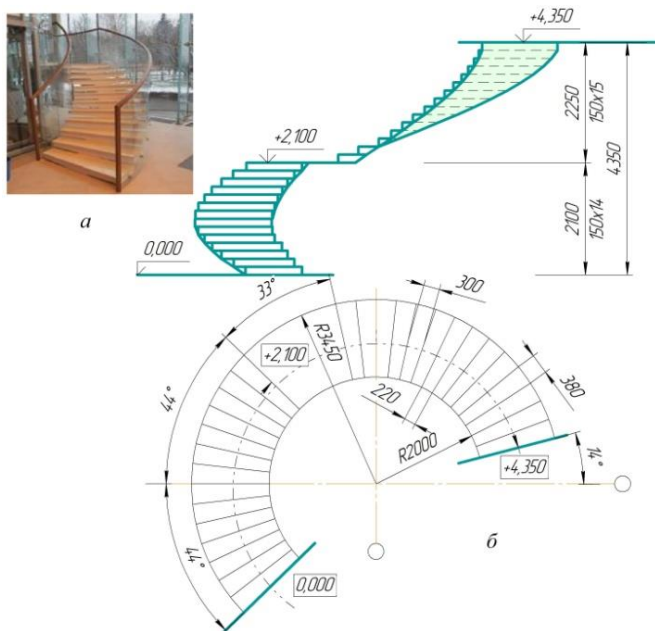


Рис.1 Примеры внешнего вида (а) и геометрии (б) лестниц с криволинейными несущими элементами

В [1] приведены традиционные способы построения криволинейных лестниц с учетом взаимосвязи между наружным диаметром ($R=3450$ мм), подъемом (150 мм) и размером ступеней в плане (220-380 мм). От геометрических размеров лестницы зависит удобство и безопасность перемещения по ней.

Если марши и площадки двухмаршевых прямых лестниц в отдельных случаях можно моделировать как линейный стержневой или пластинчатый элемент, то лестницы с криволинейными маршами являются пространственными конструкциями [2, 3].

По конструктивному решению криволинейные лестницы можно разделить на три вида [4]:

- лестницы со ступенями, сопряженными с криволинейным брусом (брусьями);
- лестницы в виде криволинейного пандуса, на верхней поверхности которого расположены ступени;
- лестницы с поручнями в виде железобетонных криволинейных балок, по низу которых закреплены ступени.

Опорные брусья, криволинейные пандусы и балки-поручни криволинейных лестниц часто выполняются железобетонными ввиду хороших формообразующих свойств бетона. Ступени могут быть как железобетонные, так и металлические. Они являются нагрузкой, учитываемой при расчете железобетонных несущих элементов лестницы [5-8].

Для численного расчета лестницы с криволинейными несущими элементами, в числе других сертифицированных в России программных комплексов, может быть использован ПК ЛИРА-САПР.

На рис. 2а показана расчетная модель криволинейной лестницы, геометрия которой представлена на рис. 1. Ступени и ограждение лестницы - металлические. На два криволинейных опорных бруса передается нагрузка от собственного веса ступеней и ограждения лестницы, а также временная расчетная нагрузка 4,8 кПа.

Опорные брусья жестко сопряжены с плитой перекрытия. В плите перекрытия в местах опирания брусьев лестницы устраиваются скрытые балки. В месте расположения промежуточной лестничной площадки между криволинейными опорными брусьями устанавливаются два поперечных бруса.

При создании расчетной модели для построения лестницы в плане использовалась команда *добавить узлы по окружности*, а для построения вертикали лестницы - команда *перемещение*.

На рис. 2б приведены результаты компьютерного подбора арматуры. На рис. 2в показана схема армирования опорного бруса, имеющего размеры поперечного сечения 25×40 см. Для опорных брусьев криволинейной лестницы назначены бетон класса В25 и арматура класса А400.

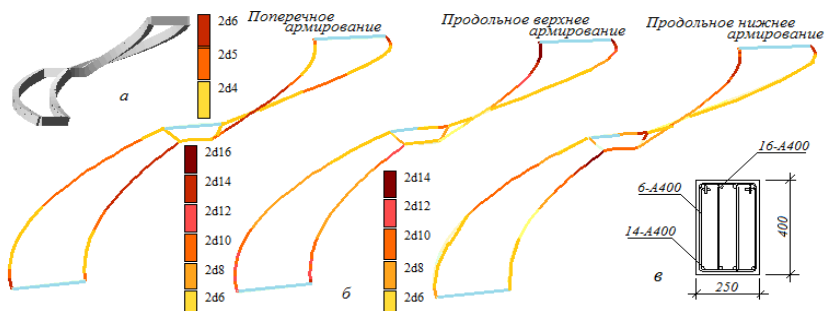


Рис. 2 Расчетная схема лестницы в 3D-графике (а), результаты подбора арматуры несущих элементов криволинейной лестницы (б), схема армирования в поперечном сечении опорного бруса (в)

Показана возможность построения расчетной схемы пространственной криволинейной лестницы средствами программного комплекса ЛИРА-САПР. Выполнен статический расчет и подобрана арматура, обеспечивающая несущую способность опорных элементов лестницы криволинейного очертания. Приведена схема армирования в поперечном сечении опорного криволинейного бруса.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мейер-Бое В. Строительные конструкции зданий и сооружений /Пер. с нем. – М., Стройиздат, 1993, 408с.
2. Малахова А.Н., Морозова Д.В. Проектирование железобетонных и металлических лестниц. – М., АСВ, 2008, 168с.
3. Малахова А.Н. Винтовая железобетонная лестница из мелкогабаритных элементов. – Новое в архитектуре, проектировании строительных конструкций и реконструкции. Материалы VIII Всероссийской (II Международной) конференции НАСКР 2014 - Чебоксары, 2014, с.18-22.
4. Канчели В.Н. Строительные пространственные конструкции. – М., АСВ, 2004, С.52-55.
5. Городецкий А.С., Евзеров И.Д. Компьютерные модели конструкций. – М., АСВ, 2009, 357с.
6. Тамразян А.Г. К расчету железобетонных элементов с учетом ползучести и старения на основе реологической модели бетона. Промышленное и гражданское строительство. 2012. № 7. С. 26-27.
7. Тамразян А.Г. Особенности работы высотных зданий. Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.
8. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.

ОПТИМИЗАЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ С УЧЕТОМ ЛОКАЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ НА ОСНОВЕ МЕТОДА НЕЛДЕРА- МИДА

В настоящее время вопросы обеспечения механической безопасности несущих конструкций при одновременном обеспечении минимального расхода материалов являются актуальными [1-4]. Рассматриваем задачу минимизации стоимости рамы с локальными повреждениями:

$$C = F(\{G_c\}, \{G_r\}, \{G_{sc}\}, \{G_{sr1}\}, \{G_{sr2}\}, \{G_b\}, \{G_R\}) \rightarrow \min ,$$

$$G_c = \{b_{c1}; h_{c1}, \dots, b_{cN}; h_{cN}\}; G_r = \{b_{r1}; h_{r1}, \dots, b_{rM}; h_{rM}\};$$

$$G_{sc} = \{A_{s,c1}, \dots, A_{s,cK}\}; G_{sr1} = \{A_{s,r1}, \dots, A_{s,r1L}\}; \quad (1)$$

$$G_{sr2} = \{A_{s,r2}, \dots, A_{s,r2O}\}, G_b = \{R_{b,1}; R_{bt,1}, \dots, R_{b,P}; R_{bt,P}\}; G_R = \{R_{s,1}, \dots, R_{s,Q}\}.$$

где C - стоимость рамы; $\{G_c\}, \{G_r\}, \{G_{sc}\}, \{G_{sr1}\}, \{G_{sr2}\}, \{G_b\}, \{G_R\}$ - множества варьируемых параметров связанных с размерами сечения колонн, размерами сечения ригелей, площадью рабочей арматуры колонн, площадью рабочей арматуры ригелей на опорных участках и в пролете, классами бетона и арматуры соответственно. Здесь K, L, M, N, O, P, Q - целые числа, определяющие размер соответствующего множества. Например, при варьировании трех классов арматуры множество G_R примет вид (МПа): $G_R = \{350, 435, 520\}$.

На основе данных их этих множеств может быть сформирован вектор $\overset{1}{X}$, описывающий конструктивное решение. Поиск рационального решения будем выполнять на основе известного метода деформируемого многогранника в форме модификации Нелдера-Мида. При этом используются стандартные операции отражения, растяжения и сжатия симплекса. В качестве базового симплекса принимается 3 решения со средними значениями случайно выбираемых варьируемых параметров. Оператором для поиска может быть такая зависимость

$$\overset{1}{X}_k = \overset{1}{X}_m + (1 + \alpha) \left(\frac{\overset{1}{X}_n + \overset{1}{X}_l}{2} - \overset{1}{X}_m \right), \quad (2)$$

где $\overset{1}{X}_k, \overset{1}{X}_m, \overset{1}{X}_n, \overset{1}{X}_l$ - числовые векторы координат точек базового симплекса на итерации; $\alpha=1$ при простом отражении и $-1 < \alpha < 1$ при сжатии.

Поиск решения заканчивается, когда векторы $\overset{1}{X}_m, \overset{1}{X}_n, \overset{1}{X}_l$ дают значение целевой функции мало отличающиеся друг от друга. При

решении задач с большим числом варьируемых параметров более эффективно использование генетических алгоритмов [5-7].

Рассмотрим пример. Проводился расчет рамно-каркасного одноэтажного здания в ПК Лира, учитывались случаи удаления средней опоры (1 случай) в середине и на торце (2 случай) (см. рис. 1). Сетка колонн принята 6х6 метров и высота этажа 4,2 метра. В начальном приближении материал несущих конструкций принимался бетон В25 с модулем упругости $E = 30000$ МПа, сечение колонн $0,3 \times 0,3$ м, ригелей $0,3 \times 0,5$ м. Собственный вес (балок и колонн) назначается автоматически. Вес кровли принят равен $2,52$ кН/м², вес железобетонной плиты равен $3,06$ кН/м² и временная нагрузка принята равна $2,1$ кН/м². Учитывались ограничения по прочности, жесткости и раскрытию трещин. Результаты представлены при удалении средней опоры на торце в табл. 1.

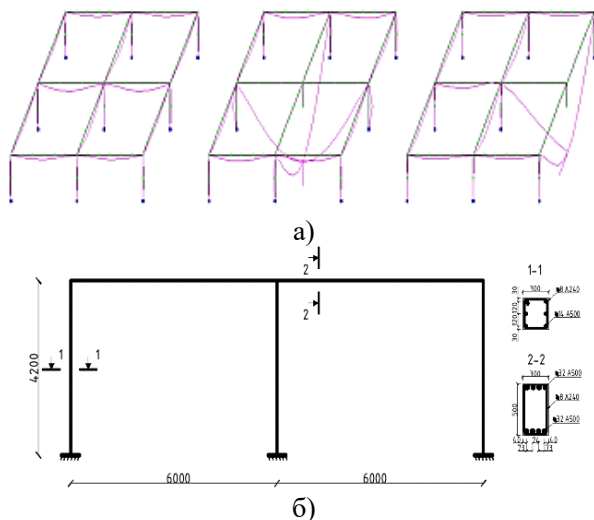


Рис. 2. Схемы прогибов здания при различных случаях удаления опор (а) и геометрическая схема плоской рамы (б)

Табл. 1. Оптимизация пространственной рамы

Номер вариантов	Стоимость бетона, руб.	Стоимость арматуры, руб.	Стоимость конструкций, руб.	Ширина раскрытия трещин, мм	Напряжение арматуры, мПа	Напряжение бетона, мПа
1	2	3	4	5	6	7
1	50000	69500	119500	0,025	412	14,5
2	50000	69000	119000	0,026	412	
3	50000	70500	120500	0,023	417	
4	50000	70000	120000	0,024	417	

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
5	54000	67000	121000	0,025	415	17
6	54000	66000	120000	0,026	415	
7	54000	59300	113300	0,033	421	
8	54000	58300	112300	0,032	421	19,5
9	57000	64800	121800	0,025	416	
10	57000	63500	120500	0,024	416	
11	57000	57100	114100	0,033	419	
12	57000	55800	112800	0,034	419	

При аварийном воздействии необходимо принять бетон В30, нижнюю арматуру 4Ø22 А500, верхнюю - 2Ø10 А500 для ригелей и 6Ø14 А500 для колонн. При нормальной эксплуатации в приопорных участках из условия прочности и жесткости приняли арматуру 4Ø22. Таким образом, при аварийном воздействии в виде быстрого удаления опор наиболее экономична и безопасна симметричная схема армирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.
2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
3. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий // Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 819-830.
4. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
5. Alekseytsev A.V., Al Ali M. Optimization of hybrid i-beams using modified particle swarm method // Magazine of Civil Engineering. 2018. № 7 (83). С. 175-185.
6. Alekseytsev A.V., Gaile L., Drukis P. Optimization of steel beam structures for frame buildings subject to their safety requirements // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 7 (91). С. 3-15.
7. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

К РАСЧЕТУ И ПРОЕКТИРОВАНИЮ МОНОЛИТНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ С УЧЕТОМ ТРЕБОВАНИЙ К УРОВНЮ МЕХАНИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

В современном строительстве, социально-экономических условиях проблема обеспечения механической безопасности, живучести конструкций является одной из центральных проблем в строительной науке зданий и сооружений и выходит на первый план [1-3]. Это связано с ростом случаев возникновения аварийных ситуаций, которые приводят к обрушению здания из-за отсутствия мероприятий защиты несущих конструкций от прогрессирующего обрушения. Данная проблема должна решиться в рамках стратегии инновационного развития Российской Федерации до 2030 года. Не менее важным аспектом в расчете строительных конструкций является исчисление безопасности того или иного конструктивного решения. Для объектов повышенного уровня ответственности это особенно важно [4, 5].

Обоснование способности строительных конструкций противостоять «прогрессирующему» разрушению осуществляется на основании расчета с использованием ПК (Lira, SCAD office). Наиболее точен нелинейный динамический расчет конструкций [6, 7].

В данной статье приводится пример расчета рисков материальных потерь 3х-этажной многопролетной рамы с плоским перекрытием при локальном повреждении опоры конструкции (колонны). Рекомендуется производить расчет по следующей схеме [8]. На первоначальном этапе выполняется расчет в эксплуатационной стадии, которая предшествует локальному обрушению, учитывая также физическую и геометрическую нелинейность. Полученное в результате этого расчета напряженно-деформированное состояние будет являться стартовым для второго этапа. На втором этапе расчет будет проводиться с выключенными (удаленными из расчетной схемы) из работы элементами. Нагрузкой на втором этапе будут являться усилия, возникающие в удаленных элементах, увеличенные на коэффициент, учитывающий динамику процесса. Если в процессе расчета выяснится, что некоторые элементы модели не удовлетворяют условию прочности – разрушаются, то расчет продолжается аналогичным образом на следующей стадии без таких элементов [3, 6]. В результате получим либо разрушение конструктивной системы здания (неблагоприятный вариант), либо локализацию процесса прогрессирующего разрушения.

Для моделирования в статическом расчете динамических эффектов, возникающих при удалении опор, будем использовать квазистатическое

значение нагрузки $q_d = k_d \cdot q$, где k_d – коэффициент динамики, определяемый по методу Г.А.Гениева. Согласно этому методу, значение динамического усилия F_d , возникающего после исключения из расчетной схемы одной или нескольких опор, определяется зависимостью: $F_d = 2 \cdot F_{tsb} - F_{tsa}$, где F_{tsb} , F_{tsa} – усилия системы постоянной жесткости, получаемые при статических расчетах системы с удаленными связями и неповрежденной системы.

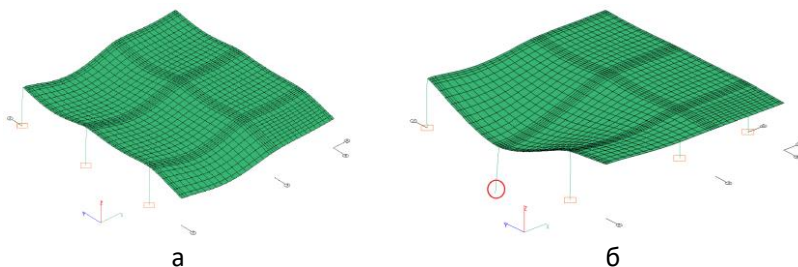


Рис.1. Схема работы конструкции: а – до повреждения колонны, б – после удаления опоры колонны

Для перемещений коэффициент динамичности может быть записан следующим образом: $k_d = 2 - (\delta_{SA}/\delta_{SB})$, где δ_{SA} – статический прогиб неповрежденной системы [1]. В данном расчетном случае $k_d = 1.994 \approx 2.0$. Оптимальным вариантом будут являться следующие параметры конструкций: плита перекрытия – класс бетона по прочности на сжатие В35, толщина 0.35м, колонны – В30, сечение 0.5*0.5м. Экономические затраты составляют на этапе проектирования $S_{p1} = 925$ тыс.р., с учетом возникновения рисков аварийной ситуации - $S_{p2} = 1\,559$ тыс.р.

В результате рассмотрения и расчета аварийной ситуации одной из превентивных мер защиты конструкций здания от прогрессирующего обрушения будет являться увеличение сечения конструкций, ее армирования, повышения класса бетона еще на этапе проектирования, что приведет к непосредственному удорожанию изготовления такой конструкции, тем самым улучшив свойство живучести конструкции, механической безопасности [8-12].

Обеспечения живучести позволит продвинуться в решении хозяйственной проблемы минимизации рисков ущербов от материальных потерь и также минимизации рисков социально-экономически последствий в масштабе страны.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Оптимальное проектирование несущих конструкций зданий с учетом относительного риска аварий. Вестник МГСУ. 2019. Т. 14. № 7. С. 819-830.

2. *Тамразян А.Г., Алексейцев А.В.* Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», Россия, г.Москва. 2020. Том 15, выпуск 1. С.12-30;
3. *Tamrazyan A.G., Alekseytsev A.V.* Assessment of mechanical safety of cost-optimized reinforced concrete structures // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. 1030. С.1-8;
4. *Меркулов С.И.* Живучесть железобетонных конструкций и конструктивных систем // Вестник ФГБОУ ВО «БГТУ» им. Шухова, Россия, г.Белгород. 2015. №3. С.58-61;
5. *Алексейцев А.В., Антонов М.Д.* Динамика безбалочных железобетонных каркасов сооружений при повреждении плит продавливанием // Строительство и реконструкция. 2021. № 4 (96). С. 23-34.
6. *Alekseytsev A.V.* Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
7. *Alekseytsev A.V.* Optimal design of steel frame structures subject to level of mechanical safety // Building and Reconstruction. 2020. № 3 (89). С. 51-62.
8. *Тамразян А.Г.* Особенности работы высотных зданий. Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.
9. *Тамразян А.Г., Манаенков И.К.* К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.
10. *Тамразян А.Г., Аветисян Л.А.* Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагружениях в условиях огневых воздействий. Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 24-28.
11. *Тамразян А.Г., Манаенков И.К.* К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41-44.
12. *Tamrazyan A., Avetisyan L.* Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.

СТРОИТЕЛЬСТВО ЗДАНИЙ ИЗ ОБЪЕМНЫХ БЛОКОВ ТИПА «КОЛПАК» НА ПЛОЩАДКАХ СЕЙСМИЧНОСТЬЮ 9-10 БАЛЛОВ

Одним из приоритетных направлений развития российской экономики является увеличение объемов жилищного строительства. Решение этой задачи осложняется демографическими проблемами, ростом цен на строительные материалы, снижением доходов населения, а также сложными инженерно-геологическими условиями, включая сейсмические районы. Увеличения объемов строительства можно достигнуть за счет повышения уровня индустриализации строительства, оптимизации трудозатрат и расхода строительных материалов, что приводит к снижению стоимости и сроков строительства и к росту доступности жилья. Перечисленным требованиям наиболее полно удовлетворяет метод строительства из объемных элементов (модулей), изготовленных и укомплектованных в заводских условиях, что позволяет перенести «под крышу» до 70-90% объемов строительных работ по сравнению с традиционными технологиями.

Особое значение имеет строительство зданий в сейсмических районах, где срок и стоимость строительства при использовании традиционных технологий возрастает в 1,5-2 раза. Наиболее экономически эффективным и отвечающим требованиям технической, пожарной, гигиенической и экологической безопасности является метод строительства из железобетонных объемных блоков заводского изготовления размером на комнату. В России получили распространение два основных типа конструкций из объемных блоков: «колпак» и «лежащий стакан».

«Колпак» представляет собой монолитную цельносформированную пятиплоскостную конструкцию, состоящую из 4-х стен и потолка, которая может комплектоваться на заводе приставной плитой пола, перегородками, вентиляционными блоками, лестничными маршами и площадками, а также навесной фасадной конструкцией. [2]

«Лежащий стакан» - монолитный цельноформовочный элемент, включающий продольные и внутренние торцовые стены, плиты пола и потолка, которые комплектуются грузовой стеновой панелью, перегородками, вентиляционными блоками, а также встроенной электроразводкой. [1]

При проектировании и строительстве объемноблочных зданий в сейсмических районах применяются два основных подхода к формированию конструктивной системы зданий:

- подход с использованием «жестких» конструктивных схем, характеризующихся объединением столбов из смонтированных друг на

друга через горизонтальные растворные швы объемных блоков в единую пространственную систему монолитными колоннами, ригелями, диафрагмами, расположенными в межблочном пространстве;

- подход с применением «гибких» конструктивных схем, при которых столбы объемных блоков объединяются между собой по горизонтали и вертикали податливыми сварными металлическими связями без образования «жестких» дисков перекрытий и без монолитных включений в межблочном пространстве.

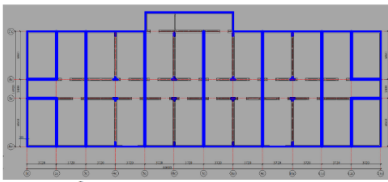
При строительстве в районах сейсмичностью площадок 7-8 баллов широкое применение получили гибкие конструктивные системы зданий из объемных блоков типа «лежащий стакан» [4]. Была подтверждена эффективность и обоснованность конструктивных решений при проведении натурных испытаний домов высотой 9-16 этажей [3,5-7].

При проектировании многоэтажных зданий на площадках сейсмичностью 9 и более баллов, технически более обоснованным является применение «жестких» конструктивных схем. Такое конструктивное решение было применено при разработке проекта 12-этажного жилого дома из объемных блоков типа «колпак» на площадке сейсмичностью 9 баллов в г. Алматы. Здания представляет собой односекционный жилой дом, образованный тремя рядами объемных блоков размером 3,6 м на 6 м и 2,4 м на 7,2 м (рисунок 1).

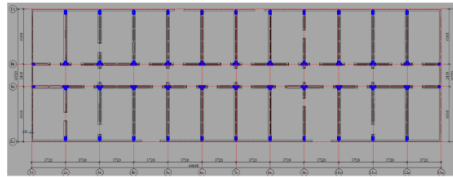


Рис. 1. План типового этажа 12-этажного жилого дома

Конструктивная система здания образована вертикальными столбами железобетонных объемных блоков, расположенными на расстоянии 80 мм друг от друга со стенами ребристой конструкции, в пространстве между столбами блоков расположены монолитные ригели в уровне междуэтажных перекрытий и колонны на пересечениях осей. Кроме того, в уровне 2-х нижних подземных этажей и 4-х надземных этажей в межблочном пространстве с определенным шагом расположены монолитные железобетонные диафрагмы. Схема расположения элементов монолитного каркаса представлена на рисунке 2.



а)



б)

Рис. 2. а) Система скрытого монолитного каркаса подвального этажа
б) Система скрытого монолитного каркаса с 7-го по чердачный этаж

Расчет показал, что максимальные значения растягивающих усилий возникают в расположенных по краям блок секций объемных блоков и монолитных усиливающих элементов в уровне нижних подвальных этажей. В элементах, расположенных выше 4-го этажа величины расчетных усилий значительно ниже, что позволит отказаться от диафрагм, начиная с 5-го этажа, оставив только ригели и колонны.

Применение объемных блоков типа «колпак» в комбинации с монолитными железобетонными ригелями, колоннами и диафрагмами, расположенными в межблочном пространстве, обеспечивают возможность строительства зданий высотой 12 этажей на площадках сейсмичностью 9 баллов в городе Алматы, несмотря на нормативные ограничения строительных норм Республики Казахстан, ограничивающих высоту зданий 6-ю этажами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Белозерский А.М.*, Объемно-блочное домостроение в России. Наука и техника транспорта. 2012. №3. С. 55-59
2. *Бронников П.И.* Объемно-блочное домостроение. М: Стройиздат, 1979, С. 160
3. *Румянцев А.А., Сергеевцев Е.Ю.* Вибрационные испытания 16-этажного жилого дома объемно-блочной конструкции. Вестник МГСУ, 5/2012 С. 98-99
4. *Синотов В.И., Колокольцева Н.Н.* Проектирование и строительство эффективного и доступного жилья из объемных блоков. Жилищное строительство. 3/2011. С.20
5. *Шатиرو Г.А., Нассонова Т.И.* Жилищное строительство. 1965, С.11-12
6. *Тамразян А.Г.* Особенности работы высотных зданий. Жилищное строительство. 2004. № 3. С. 19-20.
7. *Тамразян А.Г., Аветисян Л.А.* Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагружениях в условиях огневых воздействий. Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 24-28.

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ УРОВНЯ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В БЕТОНЕ НА НЕСУЩЮЮ СПОСОБНОСТЬ ПРИ ПРОДАВЛИВАНИИ СВАЙНОГО РОСТВЕРКА КОЛОННОЙ

Вопросы рационального проектирования свайных ростверков являются актуальными т.к. затраты на строительство подземных частей зданий, возводимых на свайных фундаментах, могут составлять до 20% от общего объема бетонных работ при возведении здания [1]. Для разрешения данных вопросов необходимо совершенствование методов расчета и проектирования свайных ростверков, а также поиск физически обоснованной расчетной модели.

На основе теоретических и экспериментальных исследований [2, 3] было установлено, что характер работы и разрушения массивных ростверков аналогичен характеру деформирования коротких балок. При этом стоит отметить, что нормативная методика расчета в соответствии с [4] наиболее применима именно для массивных ростверков и с ограничением рабочей высоты к пролету среза в отношении не менее 1 и не более 2,5. Но данная методика мало соответствует действительному характеру работы тонких ростверков и дает существенное занижение несущей способности т.к. не учитывает образование наклонных трещин и влияние тангенциальных деформаций бетона.

Стоит отметить, что в области бетона на сжатой грани ростверка вдоль стороны колонны напряжения значительно превышают сопротивление бетона сжатию. Это объясняется возникновением в данной области объемного напряженно-деформированного состояния при котором свободному деформированию ростверка препятствует сечение колонны, сдерживающее деформации в этой области, прилегающей к колонне. Здесь возникает так называемая «зона стесненных деформаций».

Для учета влияния уровня сжимающих напряжений в зоне продавливания плитной конструкций (свайного ростверка) на несущую способность конструкции предлагается на основе эксперимента [5] выполнить расчет несущей способности ростверка на продавливание колонной, заменив опорный контур на опоры (сваи) с сохранением расчетного пролета.

В работе [6] исследовалось сопротивление бетона перерезывающим силам при наличии нормальных сжимающих напряжений. Опираясь на результаты, полученные в ходе данного исследования, представляется возможным оценивать прочность бетона в условиях сложного напряженно-деформированного состояния. И таким образом, после обработки автором результатов данного исследования был получен

график зависимости R_{sh}/R от σ/R , который представлен на рис. 1. Здесь R_{sh} – сопротивление бетона срезу, R – кубиковая прочность бетона, σ – величина нормальных сжимающих напряжений.

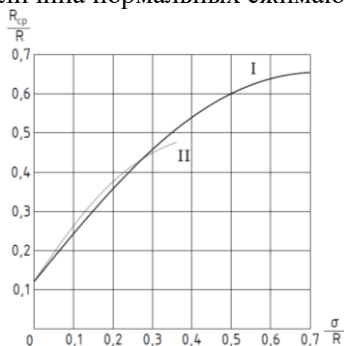


Рис. 1 График зависимости

R_{sh}/R от σ/R

Кривая I соответствует уравнению:

$$\frac{R_{sh}}{R} = 0,106 + 1,513 \frac{\sigma}{R} - 1,036 \frac{\sigma^2}{R^2}, \quad (1)$$

где $0 \leq \sigma/R \leq 0,72$.

Кривая II соответствует

$$\text{уравнению: } \frac{R_{sh}}{R} = 0,106 + 1,881 \frac{\sigma}{R} - 2,305 \frac{\sigma^2}{R^2}, \quad (2)$$

которое удовлетворительно выражает данную зависимость в пределах $0 \leq \sigma/R \leq 0,35$.

В связи с этим, определяется прочность бетона срезу при фактическом уровне сжимающих напряжений. И тогда несущую способность в данном случае можно определить на основе равенства продавливающей силы и произведения площади среза на сопротивление срезу по следующей формуле (3):

$$F_{b,ult} = \nu_1 \nu_2 \nu_3 \sum_{i=1}^n x_i \cdot b_i \cdot R'_{sh}, \quad (3)$$

где: ν_1 – коэффициент НДС (для III стадии равен 1, для I стадии $1/\cos 45^\circ = 1,4$); ν_2 – коэффициент режима нагружения (при статической нагрузке равен 1); ν_3 – коэффициент, учитывающий особенности конструктивного решения (при отсутствии поперечной арматуры равен 1); x_i – высота сжатой зоны бетона у i -й грани колонны; b_i – ширина i -й грани колонны; R'_{sh} – сопротивление бетона срезу с учетом уровня нормальных сжимающих напряжений.

Помимо этого, в работе [7] расчет прочности фундаментов заключается в определении прочности участка бетона над нормальной трещиной в сечении по грани колонны в направлении наклонной трещины. В общем случае производится по формуле (4):

$$\frac{\sum p}{\sin \alpha} = b_c \cdot x^* \cdot \cos \alpha \cdot R_b^*, \quad (4)$$

где: b_c – ширина грани колонны; x_i – высота сжатой зоны бетона у грани колонны с учетом влияния дополнительных сжимающих усилий от сил трения по подошве фундамента и кольцевого распора вокруг колонны ($k=1,45$); $R_b^* = 2,5R_b$; α – угол наклона площадок напряжений. Результаты расчета по методике [7] приведены на рис. 2.

В настоящее время объединение расчетной и физической моделей является одной из важных задач в области расчета железобетона. Исследование несущей способности и деформативности железобетонных балок при различных диаграммах деформирования является важным направлением и способствует повышению надежности и эффективности проектирования [6-9].

В качестве опытных данных для исследовательской работы использовались испытания железобетонной балки, изложенных в исследованиях С. М. Крылова. На рис. 3 приведена схема загрузки опытных балок.

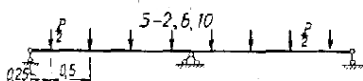


Рис. 3. Схема загрузки опытных балок

Основная идея расчета по упрощенной методике заключается в изменении жесткостных параметров стержневого элемента с учетом распределения изгибающего момента. При помощи

программно-расчетного комплекса SCAD++ был выполнен расчет в упругой стадии. При построении модели было учтено разбиение стержневого элемента на отдельные участки, с целью получения более подробного распределения усилий в элементе. На основании полученных данных были изменены жесткостные характеристики для каждого стержневого элемента в схеме и получена итоговая эпюра изгибающих моментов.

Так же был выполнен расчет согласно деформационной теории пластичности. Полученные результаты приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Метод моделирования	Опорный момент			Пролетный момент		
	$M_{оп}$	$M_{оп}^o$	Δ в %	$M_{оп}$	$M_{оп}^o$	Δ в %
Упругая система	1289,06	935	-37,87	766,6	905	+15,29
Деформационная теория пластичности	980,28	935	-4,84	857,73	905	+5,22
Методика разбиения стержня с последующей заменой жесткостей	845,52	935	+9,57	979,73	905	-8,26

Данные в таблице показывают, что опытные результаты существенно отличаются от результатов расчета упругой системы и близко соответствуют предлагаемому способу. Расчет по деформационной

теории пластичности имеет лучшую сходимость, однако на практике является более трудоемким.

Таким образом, по результатам проведенных работ можно сделать следующие выводы:

- упрощенная методика позволяет в явном виде регулировать изменение жесткостей и оценивать НДС элемента;
- в общем виде упрощенная практическая методика не трудоемка и посредством стандартных инструментов SCAD позволяет достаточно быстро решать вопросы учета физической нелинейности;
- упрощенная методика показывает удовлетворительную сходимость по отношению как к теоретическим, так и к экспериментальным данным;

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Крылов С.М.* Перераспределение усилий в статически неопределимых железобетонных конструкциях. – М.: Госстройиздат, 1961. – 91 с.
2. *Гениев Г.А., Киссюк В.Н., Тюпин Г.А.* Теория пластичности бетона и железобетона. – М.: Строиздат, 1974. – 316 с.
3. *Ерышев В.А.* Диаграммный метод расчета стержневых железобетонных элементов. Электронное учебно-методическое пособие. – Тольятти, Изд-во ТГУ, 2019. – 52 с.
4. *А.А. Гвоздев.* Расчет несущей способности конструкций по методу предельного равновесия. – М.: Госстройиздат, 1949.
5. *Я.М. Немировский.* Жесткость изгибаемых железобетонных элементов и раскрытие трещин в них. Сборник статей ЦНИПС под редакцией проф. А.А. Гвоздева и В.В. Михайлова. – М.: Госстройиздат, 1949.
6. *Тамразян А.Г., Аветисян Л.А.* Экспериментальные исследования внецентренно сжатых железобетонных элементов при кратковременных динамических нагружениях в условиях огневых воздействий. Промышленное и гражданское строительство. 2014. № 4. С. 24-28.
7. *Тамразян А.Г., Манаенков И.К.* К расчету плоских железобетонных перекрытий с учетом фактической жесткости сечения. Научное обозрение. 2015. № 8. С. 87-92.
8. *Тамразян А.Г., Манаенков И.К.* К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41-44.
9. *Tamrazyan A., Avetisyan L.* Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.

СЕКЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ И УНИКАЛЬНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Студент магистратуры 1 года обучения 1 группы ИСА Арутюнян С.А.
Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. А.Д. Истоин

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ МОНОЛИТНОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ ПЛИТЫ ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ЕЕ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

При эксплуатации здания не редко появляется необходимость увеличения нагрузки. Если существующее перекрытие не способна воспринимать увеличенную нагрузку, производится усиление [1,2,3,4,5].

Целью является анализ напряженно-деформированного состояния монолитной железобетонной плиты при изменении ее расчетной схемы.

Рассматривается плита перекрытия, опертая на металлические балки по двум сторонам с пролетом 6 метров. Плита армирована только в нижней части сеткой Ø14 класса А400 с шагом 200 мм. Расчетная схема и эпюра изгибающих моментов плиты до усиления представлена на рис.1. Геометрические и прочностные характеристики плиты приведены в табл.1.

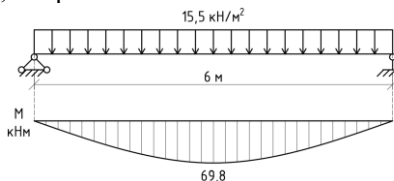


Рис.1. Однопролетная расчетная схема и эпюра изгибающих моментов до усиления

Таблица 1.

Исходные данные для расчета исходной плиты

Нагрузка на плиту, кН/м ²	h , мм	b , мм	Класс бетона	R_b , МПа	γ_b	R_s , МПа	A_s , мм ²
15,5	150	1000	B15	8,5	0,9	350	770

Расчет железобетонной плиты перекрытия

Схема усилий и эпюра напряжений в нормальном сечении плиты представлена на рис.2.

Расчет несущей способности нормального сечения (СП 63.13330.2018).

Высота сжатой зоны:

$$x = \frac{R_s A_s}{R_b b} = \frac{350 \cdot 770}{8,5 \cdot 1000} = 31,7 \text{ мм}$$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением:

$$M_{ult} = R_b b x (h_0 - 0,5x) = 8,5 \cdot 1000 \cdot 31,7 \cdot (130 - 0,5 \cdot 31,7) = 29,8 \text{ кНм} < M = 69,8 \text{ кНм}$$

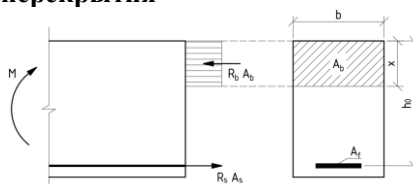


Рис.2. Схема усилий и эпюра напряжений в сечении однопролетной плиты

Несущая способность плиты в 2,34 раза меньше изгибающего момента от новой нагрузки. Необходимо произвести усиление.

Одним из решений является введение дополнительных опор – металлических балок, с последующим усилением надопорной части холстами из углеволокна. Это связано с существующим опиранием плит на

металлические балки. При этом происходит изменение расчетной схемы: с однопролетной шарнирной балки на двухпролетную неразрезную балку. При введении дополнительной опоры в середине пролета, расчетная схема плиты перекрытия представлена на рис.3.

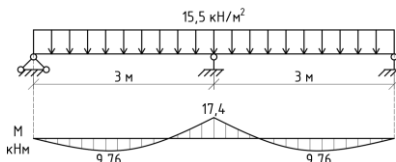


Рис.3. Двухпролетная расчетная схема и эпюра изгибающих моментов после усиления

расчетная схема плиты перекрытия представлена на рис.3. При такой схеме над вновь подводимой опорой возникает изгибающий момент, который воспринимается надопорным сечением плиты. Поскольку данная плита была запроектирована как однопролетная шарнирно опертая, верхнее армирование в ней не предусмотрено. Для восприятия изгибающего момента необходимо запроектировать усиление надопорной части [2,3,4,5]. Для этого применены два параллельных холста в два слоя из композитного материала толщиной 0,1 мм и шириной 600 мм. Геометрические и прочностные характеристики материалов существующей плиты и ее усиления приведены в табл.2.

Таблица 2.

Исходные данные для расчета плиты с усилением

Нагрузка на плиту, кН/м ²	h , мм	b , мм	Класс бетона	R_b , МПа	γ_b	$R_{f,n}$, МПа
15,5	150	1000	B15	8,5	0,9	1000

Расчет усиленной железобетонной плиты перекрытия (СП 164.1325800.2014)

Схема усилий и эпюра напряжений в нормальном над опорным сечении плиты представлена на рис.4.

Расчет несущей способности усиленного внешнего армированием нормального сечения.

Расчетное значение сопротивления растяжению углеволокна:

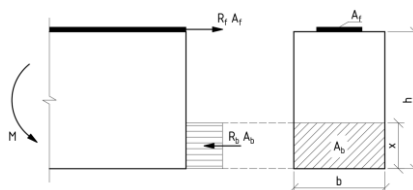


Рис.4. Схема усилий и эпюра напряжений в надопорном сечении с внешним армированием

$$R_f = \frac{\gamma_{f1} \cdot \gamma_{f2} \cdot R_{f,n}}{\gamma_f} = \frac{0,9 \cdot 0,9 \cdot 1000}{1,2} = 675 \text{ МПа}$$

γ_f – коэффициент надежности по композитному материалу; γ_{f1} – коэффициент условий работы композитного материала; γ_{f2} – коэффициент условий работы композитного материала, учитывающий сцепление композитного материала с бетоном

$$\gamma_{f2} = \frac{1}{2,5 \varepsilon_{fu}} \sqrt{\frac{R_b}{n E_f t_f}} = \frac{1}{2,5 \cdot 0,0123} \sqrt{\frac{8,5}{2 \cdot 55000 \cdot 0,1}} = 0,9 \leq 0,9$$

n – число слоев композитного материала; E_f – модуль упругости композитного материала, МПа; t_f – толщина одного слоя композитного материала, мм; Высота сжатой зоны: $x = \frac{R_f A_f}{R_b b} = \frac{675 \cdot 240}{8,5 \cdot 1000} = 19,1 \text{ мм}$

Предельный изгибающий момент, воспринимаемый сечением:

$$M_{ult} = R_b b x (h - 0,5x) = 8,5 \cdot 1000 \cdot 19,1 \cdot (150 - 0,5 \cdot 19,1) = 22,8 \text{ кНм} > M = 17,4 \text{ кНм}$$

Выводы

1. Несущая способность существующей плиты в 2,34 раза меньше изгибающего момента от новой расчетной нагрузки.
2. В связи с наличием металлического каркаса существующего здания, усиление железобетонной плиты перекрытия принято в виде установки дополнительной опоры (металлической балки).
3. Надопорное сечение потребовало усиление в растянутой зоне плиты двумя холстами из углеволокна.
4. Несущая способность нормального сечения усиленной плиты на 31% больше изгибающего момента от новой расчетной нагрузки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г. Основные принципы оценки риска при проектировании зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2011. № 2-1. С. 21-27.
2. Бадалова Е.Н. Экспериментальные исследования изгибаемых железобетонных конструкций, усиленных приклеиванием углепластиковых пластин // Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф. Прикладные науки. – 2009. – № 12. – С. 45 – 50.
3. Симаков О.А. Применение в качестве внешнего армирования железобетонных элементов тканых сеток из углеродных волокон// Технология текстильной промышленности. – 2019 – № 3(381) – С.57–61.
4. Мухамедиев Т.А., Кузеванов Д.В. Расчет по прочности нормальных сечений железобетонных конструкций, усиленных композиционными материалами. Бетон и железобетон (6). 2013 С.20-24.
5. Шилин А.А., Пшеничный В.А., Картузов Д.М. Внешнее армирование железобетонных конструкций композитными материалами. – М.: Стройиздат, 2007. – С. 82-85.

К ОЦЕНКЕ ЖЕСТКОСТИ НОРМАЛЬНО ЭКСПЛУАТИРУЕМЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК

Определение прогибов железобетонных балочных конструкций является важнейшей задачей, определяющей как безопасность, так и эксплуатационные качества железобетонных балочных конструкций. Ограничения по перемещениям используется как в оценке удовлетворения требованиям второй группы предельных состояний, нормируемых СП 63.13330.2018, так и при решении задач оптимизации нормально эксплуатируемых конструкций [1-4]. При этом прогибы существенно влияют на механическую безопасность несущих конструкций в случае возникновения аварийных ситуаций [5-7].

В данной работе проведен сравнительный анализ влияния коррозии бетона сжатой зоны на деформативность железобетонных балок [8-9] при различных подходах к расчету:

- при постоянной изгибной жесткости: $EI=\text{const}$;
- при разделении балки на равные сегменты и переменном моменте инерции сечения: $E=\text{const}, I \neq \text{const}$;

Рассмотрим балку, изображенную на рис. 1

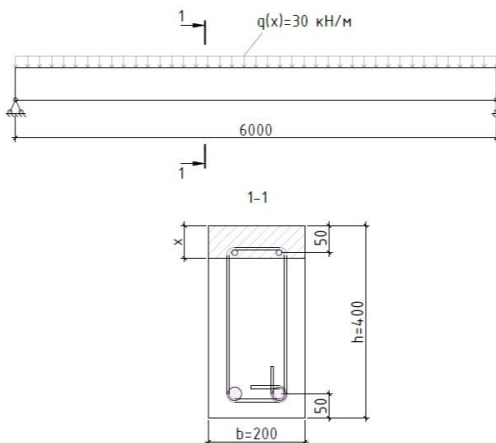


Рис. 1 Расчетная схема, сечение и параметры армирования балки

Первый подход. Класс бетона принят В25 со значениями расчетного сопротивления растяжению $R_{bt} = 1,05$ МПа, сжатию $R_b = 14,5$ МПа, класс продольной арматуры А500с в обоих подходах. Прогибы железобетонных конструкций согласно п. 8.2 СП 63.13330.2018 можно

определять по общим правилам строительной механики, вводя в расчет приведенное к бетону сечение с центральным моментом инерции I_{red}

$$\Delta_c = f_{cp} = \frac{5 \cdot q \cdot l^4}{384 \cdot E_{b1} \cdot I_{red}}$$

где q – распределенная нагрузка; l – расчетный пролет балки; E_{b1} – модуль деформации бетона при непродолжительной действии нагрузки.

Второй подход. Перемещения можно определить также разделив балку на 6 равных участков $\delta_1 - \delta_3$ (рис. 2) и применив метод Мора для определения перемещений на каждом таком участке с учетом характера изменения высоты сжатой зоны бетона по длине балки, показанного на рис. 3. Для определения перемещений используем формулу:

$$\Delta = \sum_{i=1}^3 \left(\int_0^l \frac{Q \cdot Q_p}{GA_{ired}} dz + \int_0^l \frac{M \cdot M_p}{EI_{ired}} dz \right)$$

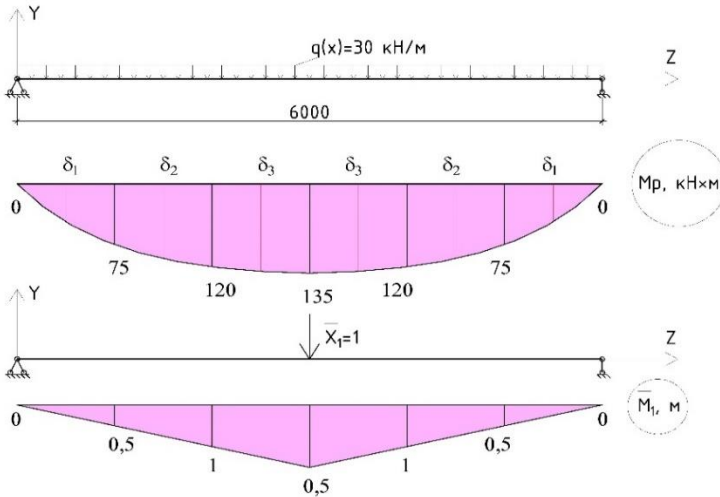


Рис. 2. К определению перемещений с учетом дискретизации на участки

Расчеты показали, что прогиб балки без уточнения изменения сжатой зоны бетона на участках составил 1,567 см. В случае разделения балки на равные сегменты 2,555 см, что отличается более чем на 60%.

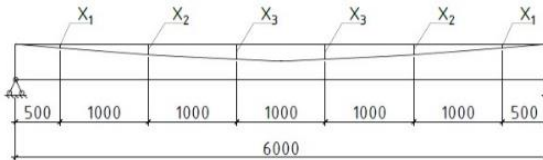


Рис. 3. Изменение высоты сжатой зоны по длине балки

Разница в результатах свидетельствует о необходимости совершенствования методик определения перемещений для

железобетонных элементов, в т.ч. численной верификации на основе построения уточненных конечно-элементных моделей и экспериментальной верификации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.

2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.

3. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.

4. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.

5. Алексейцев А.В. Двухэтапный синтез структурных конструкций с использованием генетического алгоритма и тетраэдризации Делоне // Международный журнал по расчету гражданских и строительных конструкций. 2013. Т. 9. № 4. С. 83-91.

6. Алексейцев А.В. Поиск рациональных параметров строительных конструкций на основе многокритериальной эволюционной оптимизации // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 7. С. 18-22.

7. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002.

8. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41-44.

9. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.

К РАСЧЕТУ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ БАЛОК ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ НАГРУЗКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

По [1] для расчета железобетонных конструкций по прочности предлагается два основных подхода: расчет по предельным усилиям и расчет по нелинейной деформационной модели. При расчете по предельным усилиям вычисляются продольная сила N и изгибающий момент M в нормальном сечении железобетонного элемента. Одной из предпосылок расчёта является представление о равномерном распределении напряжений в характерных зонах элемента. Но область применения таких расчетов достаточно жестко ограничена стандартной формой поперечного сечения элемента (круг, кольцо, прямоугольник, двутавр, тавр) [2].

Метод расчета по нелинейной деформационной модели не ограничен формой поперечного сечения и позволяет получить более приближенное к реальному распределение напряжений по сечению. В основе метода лежит применение в расчётах диаграмм деформирования материалов, устанавливающих связь между напряжениями σ и деформациями ε .

Это начальное действие является критически важным аспектом всего расчёта, поэтому поподробней остановимся на нём.

Согласно [1] допускается использовать трёхлинейную диаграмму состояния бетона при расчёте деформаций железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели при отсутствии трещин для оценки напряжённно-деформированного состояния в сжатом и растянутом бетоне.

Рассмотрим построение трёхлинейной диаграммы состояния бетона В25.

Дано: тяжёлый бетон бетон В25

Расчётное значение сопротив.бетона осевому сжатию:

$$R_b = \sigma_{b0} = \sigma_{b2} = R_{b,n} = 18,5 \text{ МПа}$$

Начальный модуль упругости: $E_b = 30000 \text{ МПа}$

При продолжительном действии нагрузки модуль деформации определяют: $E_{b,t} = \frac{E_b}{1+\varphi_{b,cr}}$, где $\varphi = 2,5$ – коэффициент ползучести бетона для влажности 40-75%

При трёхлинейной диаграмме значения напряжений $\sigma_{b1} = 0,6 \cdot R_{b,n} = 11,1 \text{ МПа}$

Значения относительных деформаций ε_{b1} принимают:

$$\varepsilon_{b1} = \frac{\sigma_{b1}}{E_{b,t}} = \frac{11,1}{8571,43} = 0,001295$$

Значения относ.деформаций ε_{b2} и ε_{b0} принимают по таблице 6.10 СП63.13330.2018

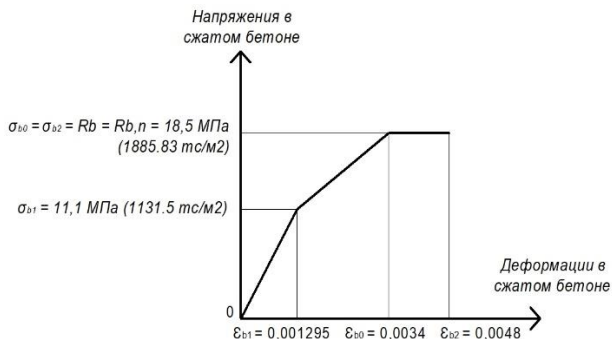


Рис. 1. Принятая диаграмма деформирования бетона

При расчете железобетонных элементов по нелинейной деформационной модели в качестве расчетной диаграммы состояния (деформирования) арматуры, устанавливающей связь между напряжениями σ_s и относительными деформациями ε_s арматуры, для арматуры с физическим пределом текучести классов А240-А500, В500 принимают двухлинейную диаграмму. Диаграммы состояния арматуры при растяжении и сжатии принимают одинаковыми, с учетом нормируемых расчетных сопротивлений арматуры растяжению и сжатию.

Дано: стержень арматуры А500С

Расчётное сопротивление растяжению арматуры:

$$R_s = \sigma_{s0} = \sigma_{s2} = R_{s,n} = 500 \text{ МПа}$$

Значение модуля упругости принимают равными при растяжении и сжатии:

$$E_s = 200000 \text{ МПа}$$

Значения относительных деформаций ε_{s0} для арматуры с физическим пределом текучести принимают равными:

$$\varepsilon_{s0} = \frac{R_{s,n}}{E_s} = \frac{500}{200000} = 0,0025$$

Значения относительных деформации ε_{s2} принимают равным 0,025.

Определение параметрических точек диаграммы является принципиально важным моментом, влияющим на конечные результаты расчёта.

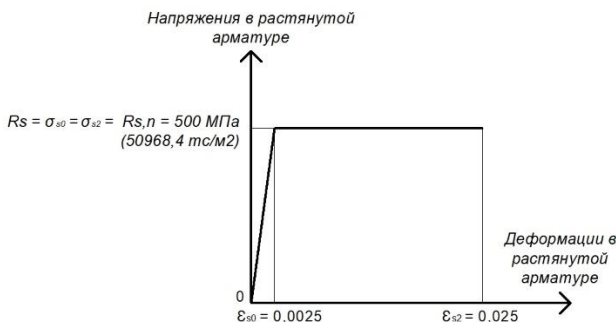


Рис. 2. Принятая диаграмма деформирования арматуры

Выбор диаграмм состояния позволяет учитывать множество различных факторов, оказывающих влияние на напряженно-деформированное состояние элемента, таких как наличие косвенного армирования, добавление в состав бетона различных видов фибры, влияние низких отрицательных и повышенных температур [3-7].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2018 «СНиП 52-01-2003 Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения»
2. Байков В.Н., Додонов М.И., Расторгуев Б.С. и др. Общий случай расчёта прочности по нормальным сечениям // Бетон и железобетон. – 1987, №5. – С. 16-18.
3. Тамразян А.Г., Черник В.И. Диаграмма деформирования бетона, ограниченного дискретной композитной облойкой // Промышленное и гражданское строительство. 2020. № 8. С. 43-53.
4. Тамразян А.Г., Манаенков И.К. К расчету изгибаемых железобетонных элементов с косвенным армированием сжатой зоны. Промышленное и гражданское строительство. 2016. № 7. С. 41-44.
5. Mанаенков I., Grezeva A.S., Zinoveva E., Korenkov P. Calculation of deformations of concrete with indirect reinforcement according to limit state design // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2020. 869:052033
6. Tamrazyan A., Avetisyan L. Comparative analysis of analytical and experimental results of the strength of compressed reinforced concrete columns under special combinations of loads. В сборнике: MATEC Web of Conferences. 5th International Scientific Conference on Integration, Partnership and Innovation in Construction Science and Education, IPICSE 2016. 2016. С. 01029.
7. Манаенков И.К., Курнавина С.О. Построение диаграммы сжатия для бетона с косвенным армированием в рамках теории предельных состояний // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 40-47.

К ОЦЕНКЕ КОЭФФИЦИЕНТА НАДЕЖНОСТИ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ НА РАСТЯЖЕНИЕ ПРИ ИЗГИБЕ ПО НЕПЕРЕВЯЗАННОМУ СЕЧЕНИЮ.

В действующих Нормах по каменным конструкциям средне ожидаемые пределы прочности кладки определяются умножением расчетных сопротивлений на коэффициент надежности:

$$R_u = k \times R, \quad (1)$$

где **k** и **R** – соответственно, коэффициент надежности кладки при сжатии и расчетное сопротивление кладки сжатию.

Для остальных видов напряженного состояния каменной кладки (осевое растяжение, растяжение при изгибе и срезе по перевязанному и перевязанному швам) из-за отсутствия экспериментальных данных коэффициенты надежности в нормах СП 15.13330.2012 не приводились.

Экспериментальные исследования, проведенные проф. Поляковым С. В. и его учениками с целью определения коэффициента надежности кладки, возводимой в сейсмических регионах, при различных видах ее напряженного состояния, позволили установить связь между расчетными сопротивлениями каменной кладки при осевом растяжении, растяжении при изгибе и срезе по перевязанным швам и величиной временного сопротивления кладки при осевом растяжении: $R_t = 0.45 \times R_{tu}$, $R_{sg} = 0.7 \times R_{tu}$, $R_{tw} = 0.8 \times R_{tu}$, Т.е. коэффициенты надежности по прочности кладки по перевязанным швам при указанных выше видах ее напряженного состояния при переходе от расчетных характеристик к значениям временных сопротивлений согласно СП 14.13330.2018 соответственно равны: $k_t = 2.22$, $k_{sg} = 1.43$ и $k_{tw} = 1.25$. В актуализированной редакции СП 15.13330.2020 введено необоснованно завышенный коэффициент надежности кладки для различных видов ее напряженного состояния. Для кладки в условиях растяжения при изгибе по перевязанному сечению этот коэффициент принят равным: $k_{sg} = 4$. Назначение завышенного коэффициента надежности без научного обоснования приведет к тому, что расчетные характеристики кладки, вычисленные путем деления временного (нормативного) сопротивления кладки на завышенный коэффициент надежности, не будут соответствовать реальной ее прочности и, как следствие этого, конструкции могут оказаться экономически невыгодными, поскольку их стоимость резко возрастет.

В НИУ МГСУ на кафедре ЖБКК были проведены исследования прочности кладки из клинкерного кирпича на растворе марки «quick-mix» с оценкой прочности на растяжение при изгибе по перевязанному сечению. Испытания включали в себя оценку марки

кирпича и раствора, использованных в эксперименте, и испытания фрагментов стен на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению. На рисунке 1 показана схема испытаний опытных образцов.

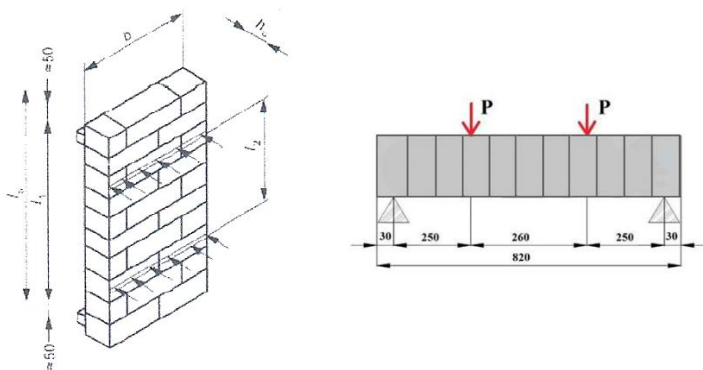


Рисунок 1. Схема испытаний образцов на изгиб по неперевязанному сечению

На фото рисунка 2 показан момент испытания фрагмента стены на изгиб по неперевязанному сечению.



Рисунок 2. Момент испытания опытного образца на изгиб

Анализ результатов испытаний образцов кирпичных фрагментов на растяжение при изгибе по неперевязанному шву (таблица 1) позволяет отметить следующее.

Для обеспечения нормального сцепления раствора с кирпичом до начала ведения кладки образцов кирпич был увлажнен.

В соответствии с указаниями СП 15.13330.2012 (табл.11) расчетное сопротивление кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению в случае использования цементного раствора марки не менее М50 составляет 0,12 МПа.

Среднее значение расчетного сопротивления кладки при изгибе из плоскости стенки (растяжение при изгибе по неперевязанному сечению) получилось равным при использовании кирпича клинкерного

пустотелого марки «LODE» на растворе «quick-mix Z 01» значение $R_{tb} = 0.16$ МПа. Таким образом, как показали экспериментальные исследования, при использовании для кладки кирпича клинкерного пустотелого марки «LODE» на растворе «quick-mix Z 01» расчетное сопротивление растяжению при изгибе кладки на 30% выше нормируемого значения.

Таблица 1

Результаты испытаний кладки на изгиб по неперевязанному сечению

№ сер.	Марка образца	Размеры стен между опорами (м)		Нагрузка на плиту		$M_{разр}$ (Нм)	$R_{ср. tb}$ (Мпа)
		Пролет	Ширина	$q_{св.}$ (Н/м ²)	P (Н)		
1	KLH-1	0,76	0,51	29,6	420	82,3	0,16
	KLH-2						
	KLH-3						
	KLH-4						
	KLH-5						

По результатам обработки экспериментальных данных коэффициент надежности кладки на растяжение при изгибе по неперевязанному сечению получился равным $k_{sg} = 1.9$. Т.е. приведенный в СП 15.13330.2020 $k_{sg} = 4$ не соответствует результатам настоящих испытаний и экспериментальным исследованиям каменной кладки, приведенным в работах [1-3] и СП [4].

В настоящее время исследования по данной тематике продолжаютя.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Онищик Л. И.* Прочность и устойчивость каменных конструкций, ч.1. Работа элементов каменной конструкций. М., 1937., 291 с.
2. *Семенцов С. А.* Современные методы расчета каменных конструкций Научное сообщение. М.,1958 г., 26 с.
3. *Семенцов С. А.* Современные проблемы строительных конструкций. Каменные конструкции. М. 1953. 176 с.
4. *СП 14.13330.2018.* Строительство в сейсмических районах. Актуализированная редакция СНиП II-7-81*.
5. *Беленцов Ю. А.* усиление каменных стен и простенков с учетом упругопластической работы каменной кладки реконструируемых жилых зданий. // <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=15997153>.

К РАСЧЕТУ ВНЕЦЕНТРЕННО СЖАТЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПО НЕЛИНЕЙНОЙ ДЕФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ С УЧЕТОМ ПРОДОЛЬНОГО ИЗГИБА

Преимущество использования компьютерных технологий в расчете железобетонных элементов состоит в возможности реализации трудоемких методов расчета. В действующем своде правил [1] одним из таких методов является расчет по нелинейной деформационной модели (НДМ) железобетонного элемента.

Метод НДМ обладает рядом преимуществ перед методом расчета элемента по предельным усилиям: любая форма сечения элемента, любые конструктивные модификации, возможность анализировать напряженно-деформированное состояние конструкции на разных этапах нагружения [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**,3].

Основу метода НДМ составляют физическая нелинейность железобетонных конструкций, за счет чего результаты расчета наиболее приближены к экспериментальным данным. Результатом расчета являются предельные усилия и допустимые относительные деформации ε .

Суть метода состоит в разбиении сечения элемента на относительно малые участки, для каждого из которых по вычисленным деформациям в пределах сечения в соответствии с диаграммами напряжение-деформации вычисляется матрица напряжений по сечению. На первом этапе работа материалов принимается упругой по закону Гука. Далее расчет ведется итерационно до заданной точности. На каждом этапе напряжения и деформации пересчитываются до достижения требуемой точности разницы кривизны и деформаций на последнем и предпоследнем шаге.

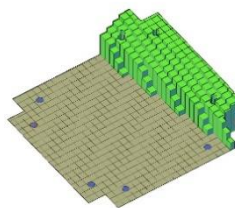


Рис.1 Распределение напряжений в сжатой зоне бетона колонны ЖБ сечения

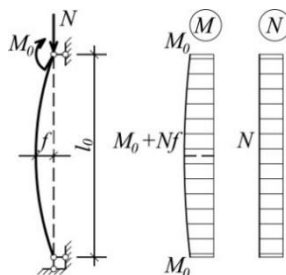


Рис.2 Расчетная схема при внецентренно-сжатом стержне с учетом продольного изгиба.

Необходимо отметить, что для расчета несущей способности центрально и внецентренно сжатых гибких стержней необходимо учитывать продольный изгиб. Расчетный случай приводится к схеме закрепления шарнир-шарнир через коэффициент расчетной длины μ . Форма деформирования – парабола. Возникающий прогиб создает дополнительный изгибающий момент.

Составляющие материалы ЖБ элемента имеют разные физико-механические характеристики, что наглядно отражено в диаграммах деформирования материала [1]. Следовательно, при равных деформациях напряжения в бетоне и арматуре будут отличаться

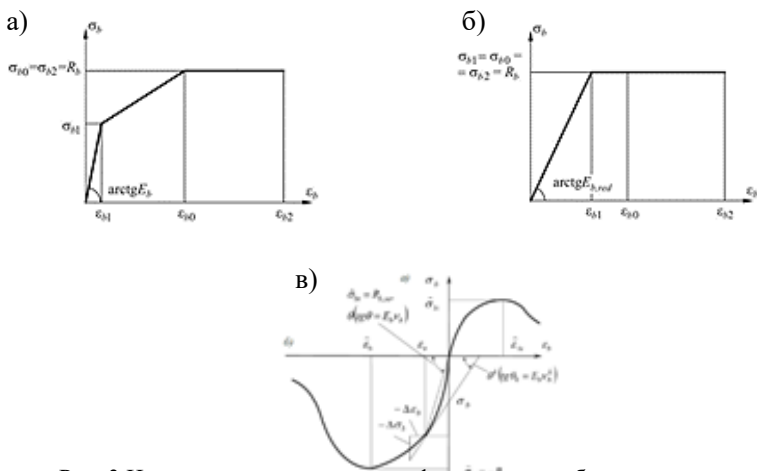


Рис. 3 Нормативные диаграммы деформирования бетона: а – трёхлинейная диаграмма, б – двухлинейная диаграмма, в- криволинейная диаграмма деформирования бетона.

Для бетона возможно задаться как аналитической диаграммой (двухлинейная, трёхлинейная, криволинейная), так и данными, полученными в ходе экспериментов [4]. Итоговый выбор диаграммы остается за инженером, который производит расчет. Результаты расчета могут различаться в зависимости от вида принятой диаграммы [5,6].

Выбор диаграммы деформирования стали обусловлен прочностными характеристиками материала: для мягких сталей в большинстве работ применяется двухлинейная диаграмма деформирования, для высокопрочных сталей применяется трехлинейная диаграмма.

В современном строительстве гибкие колонны наиболее распространены за счет применения высокопрочных материалов, которые в свою очередь позволяют уменьшить размер поперечного сечения ЖБ элемента. Это указывает на необходимость использования метода расчета, результаты которого наиболее приближены к реальным – Нелинейная деформационная модель.

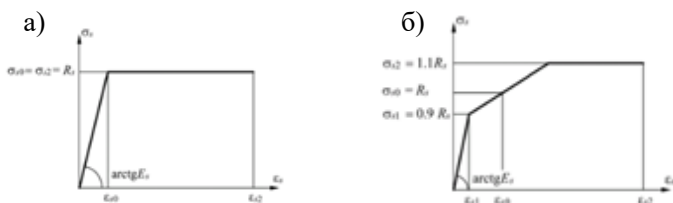


Рис. 4 Диаграммы состояния растянутой арматуры: а – двухлинейная диаграмма, б – трехлинейная диаграмма

1. Метод НДМ позволяет получить наиболее приближенные результаты к экспериментальным данным. Выбор входных характеристик деформирования материала остается за инженером.

2. Методика НДМ позволяет учитывать большую часть конструктивных особенностей элемента, решая широкий спектр задач, что особенно важно в современном ритме развития строительной отрасли.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. СП 63.13330.2012 «Бетонные и железобетонные конструкции. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 52-01-2003».
2. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98-105.
3. Манаенков И.К., Курнавина С.О. Построение диаграммы сжатия для бетона с косвенным армированием в рамках теории предельных состояний // Строительство и реконструкция. 2022. № 1 (99). С. 40-47.
4. Манаенков И.К. Экспериментальные исследования железобетонных балок с косвенным армированием сжатой зоны поперечными сварными сетками Известия высших учебных заведений. // Технология текстильной промышленности. 2018. № 5 (377). С. 243-247.
5. Manaenkov I.K., Savin S.U. Numerical analysis of the ultimate compressibility of concrete with indirect reinforcement for plotting a stress-strain diagram // IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 2021. 1030:012090.
6. Манаенков И.К. Совершенствование методики построения расчетной диаграммы сжатия для бетона с косвенным армированием сварными сетками // Инженерный вестник Дона. 2021. № 3 (75).
7. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий. В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.

РАСЧЁТ НА ПРОГРЕССИРУЮЩЕЕ ОБРУШЕНИЕ В РАЗЛИЧНЫЕ ЭТАПЫ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА СООРУЖЕНИЯ

Расчёту на прогрессирующее обрушение на сегодняшний день посвящены многочисленные работы, рассматривающие различные аспекты. В данной работе предлагается учесть такой фактор как состояние несущей системы. По прошествии времени несущая система изнашивается [1]. Прочность и жёсткость несущей системы падает, изменяется техническое состояние. Цель работы – проанализировать влияние факторов, возникающих в процессе эксплуатации, на стойкость несущей системы к прогрессирующему обрушению.

Рассмотрим самый простой случай – нормальное техническое состояние. В данной ситуации проявляется только один фактор - ползучесть. Она приводит к появлению необратимых пластических деформаций. После разгрузки система не вернётся в исходное положение. И всякие изменения воздействий следует рассматривать с учётом этого. Кроме того, на данный момент реализация в расчётной модели поэтапного нагружения и прогрессирующего обрушения проблематичны. Требуется выход из данной ситуации.

Предлагается следующая схема. Согласно наследственной теории старения полная продольная относительная деформация в момент времени t от единичного напряжения, приложенного в возрасте τ , определяется зависимостью [2]:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) \quad (1),$$

где $E(\tau)$ - переменный модуль мгновенной деформации бетона;

$C(t, \tau)$ – мера ползучести бетона.

Задачу на прогрессирующее обрушение будем рассматривать в динамической постановке. Отказ элемента происходит быстро в процессе эксплуатации и появляется динамический эффект [3]. Тогда в расчётах используется динамический модуль упругости [4]:

$$E_{\text{дин}}(\tau) = \frac{E(\tau)}{0.83} \quad (2)$$

Также частично учитывается предыстория нагружения. Соответственно, полная относительная деформация будет выглядеть как результат сложения упругой, ползучей и динамической компонент:

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) + \frac{1}{E_{\text{дин}}(\tau)} = \frac{2}{E'(\tau)} \quad (3)$$

$$E'(\tau) = \frac{2 * E(\tau) * E_{дин}(\tau)}{E_{дин}(\tau) + E_{дин}(\tau) * E(\tau) * C(t, \tau) + E(\tau)} \quad (4)$$

Проведём тестовый расчёт на примере модели 16-ти этажного здания, в котором произошёл отказ колонны. Класс бетона по прочности – В25. Соответственно, получим следующие значения характеристик: $E=30000$ МПа, $C=7*10^{-5}$ МПа⁻¹, $E'=15267$ МПа. При этом $E/E'=0,509$. Для меры C взят усреднённый нормативный показатель. В реальности её требуется определить опытным путём и зависит она от множества условий [5].

Были проведены два расчёта на прогрессирующее обрушение с использованием обычного модуля упругости E (рис. 1а) и модулем E' (рис. 1б). Для сравнения были проанализированы прогибы перекрытия непосредственно над отказавшим элементом. Итого: увеличился прогиб. Кроме того, удалось в упрощённом виде замоделировать деформации модели до отказа. Видим, что при учёте влияния ползучести происходит значительное изменение деформаций. А потому данное свойство следует учитывать.

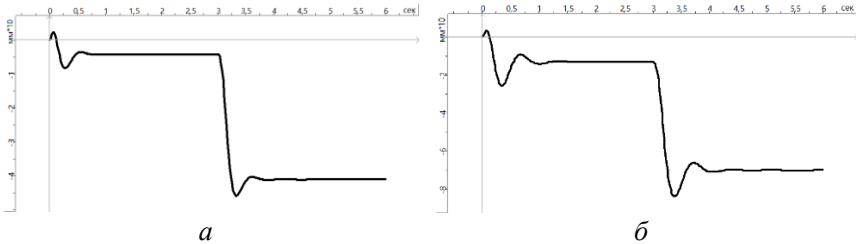


Рис. 1. Прогиб перекрытия над отказавшим элементом при использовании:
 а) модуля упругости E ,
 б) модуля E'

Формула (4) выведена из расчёта, что приращения усилий в элементе до (σ_1) и после (σ_2) отказа равны:

$$k = \frac{\sigma_2 - \sigma_1}{\sigma_1} = 1 \quad (5)$$

Однако такое случается крайне редко. В большинстве случаев в элементах эти приращения отличаются. Значит брать для всех элементов один модуль E' некорректно. Модифицируем формулу (4):

$$\delta(t, \tau) = \frac{1}{E(\tau)} + C(t, \tau) + \frac{k}{E_{дин}(\tau)} = \frac{1+k}{E'(\tau)} \quad (6)$$

$$E'(\tau) = \frac{(1+k)*E(\tau) * E_{дин}(\tau)}{E_{дин}(\tau) + E_{дин}(\tau) * E(\tau) * C(t,\tau) + k*E(\tau)} \quad (7)$$

Выход из ситуации – специальный модуль на основе «Прямого интегрирования». Пользователь будет задавать момент времени отказа. Напряжения непосредственно до данной временной черты будут сравниваться с напряжениями после неё и удастся получить коэффициенты k в каждый момент времени для каждого КЭ. При этом будет учтена и предыстория НДС, и влияние прогрессирующего обрушения.

Учёт факторов, появляющихся в процессе эксплуатации, при расчёте на прогрессирующее обрушение обоснованы [5-7]. Они могут серьёзно повлиять на стойкость здания, поскольку его состояние будет только деградировать. Такой подход поможет не только при проектировании, но и при прогнозировании состояния несущей системы.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Айдемиров К.Р.* Состояние проблемы прогрессирующего разрушения зданий и сооружений, классификация задач и подходы к их решению. М.: Вестник ДГТУ. Технические науки, 2010. С. 117-129.
2. *Перельмутер А. В.* О расчётах сооружений на прогрессирующее обрушение. М.: Вестник МГСУ, 2008. С. 119-128.
3. *Бабанов В. В., Евсеев В. А.* Назначение жесткостных параметров железобетонных конструкций в конечно-элементных динамических расчетах сооружений. М.: Жилищное строительство, 2017. С. 26-29.
4. *Шейкин А.Е., Чеховский Ю.В., Бруссер М.И.* Структура и свойства цементных бетонов. М.: Стройиздат, 1979. 344 с.
5. Тамразян А.Г., Орлова М.А. Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98-105.
6. Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г. Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий. В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.
7. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 052034.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОГНЕВЫХ ВОЗДЕЙСТВИЙ НА ПЛИТУ ПЕРЕКРЫТИЯ ЗДАНИЯ

Огневые воздействия на конструктивные элементы эксплуатируемых зданий, в том числе на рассматриваемую в статье сборную железобетонную плиту перекрытия, приводят к возникновению температурных напряжений, к изменению прочностных и деформационных характеристик бетона и арматуры, вследствие чего может возникнуть предельное состояние конструкций по огнестойкости, что сопряжено с возможным обрушением или возникновением предельных деформаций конструктивных элементов здания.

Нормативные рекомендации по выполнению расчетов железобетонных конструкций, в том числе плит перекрытий, на огневые воздействия содержатся в СП 468.1325800.2019.

На рис. 1 представлена железобетонная преднапряженная ребристая плита перекрытия, выполненная из тяжелого бетона класса В40, с основной продольной напрягаемой арматурой 12-К1500, расположенной в ребрах у нижней грани плиты.

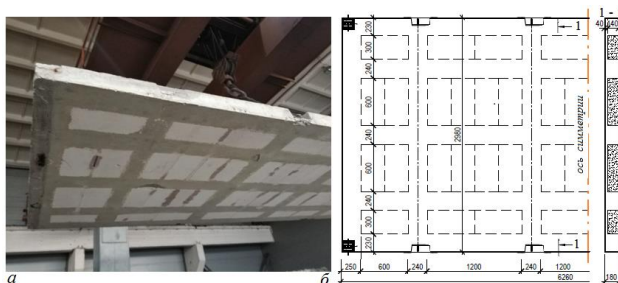


Рис. 1. Железобетонная ребристая плита перекрытия с вкладышами из конструктивного ячеистого бетона: *а* – общий вид, *б* – геометрические размеры плиты

Особенностью конструктивного решения плиты перекрытия является заполнение пространства между ее ребрами вкладышами из конструктивного ячеистого бетона с классом по прочности на сжатие В2,5 и маркой по средней плотности D400, что направлено на защиту материала нижней грани плиты от температурных воздействий.

Шарнирное опирание плиты на две короткие стороны и ее проектное армирование предполагает расчетную схему плиты в виде однопролетной статически определимой балки.

В соответствии с СП 468.1325800.2019 разрушение таких плит при равномерном нагружении и одностороннем воздействии пожара снизу

происходит с образованием пластического шарнира в середине пролета плиты при снижении прочностных и деформативных характеристик материалов, что обусловлено температурным нагревом плиты.

Расчеты плиты перекрытия выполняются по требованиям СП 63.13330.2018, регламентирующим расчет железобетонных конструкций, в частности - расчет изгибаемых железобетонных конструкций с преднапрягаемой арматурой, но с дополнительными положениями, изложенными в СП 468.1325800.2019.

Для расчетов железобетонных конструкций в условиях огневого воздействия необходимо сначала определить температуру нагрева бетона рассчитываемой конструкции (как правило - 200-800°C), и на основе этой максимально достигнутой температуры бетона скорректировать его прочностные и деформационные характеристики для проектного класса бетона через использование системы поправочных коэффициентов: γ_{bt} - для R_b , β_b и $\phi_{b,cr}$ - для E_b . Для арматуры используются аналогичные коэффициенты: γ_{st} - для R_s , β_s - для E_s . Расчеты выполняются по нормативным значениям нагрузок с учетом нормативных характеристик материалов. Из нагрузок исключаются ветровая и крановая, а также динамическая и особые нагрузки.

В научно-технической литературе приводится довольно много результатов исследований по определению величины нагрева и изучению изменения свойств материалов железобетонных конструкций при огневых воздействиях.

Так, в [1] приведен анализ результатов испытаний на огневые воздействия железобетонных несущих стен и плит перекрытий, а также выполнен сравнительный анализ результатов лабораторных и компьютерных исследований.

В [2] на основании статистической обработки данных изучен характер огневого воздействия и поведения основных несущих железобетонных конструкций общественных зданий при пожарах. Показано, что поведение сборных железобетонных плит перекрытия в условиях пожара зависит от вида арматуры и способа армирования, формы поперечного сечения и толщины защитного слоя бетона. В [3] рассматриваются общие подходы к оценке интенсивности и продолжительности огневых воздействий на конструкции зданий и сооружений. В [4] описаны натурные огневые испытания фрагмента каркасного здания, а также моделирование и проектирование железобетонных конструкций, подвергнутых огневому воздействию. В [5] рассмотрен расчет плоских железобетонных плит на продавливание с использованием теории надежности в условиях огневых воздействий.

В испытательной лаборатории ИКБС МГСУ были выполнены исследования на огневые воздействия ребристой плиты перекрытия, показанной на рис.1. Для серии образцов были установлены и графически оформлены зависимости температуры на верхней

необогреваемой поверхности плиты, а также прогиба плиты от времени теплового воздействия.

Экспериментальные исследования могут быть дополнены компьютерным моделированием огневого воздействия, а также теплотехническими расчетами, расчетами по несущей способности и деформированию плиты перекрытия, выполненными с использованием ПК ЛИРА. На рис. 2 приведена расчетная модель рассматриваемой плиты (а), диалоговое окно задания температурного воздействия на конструкцию с коэффициентами линейного расширения бетона при различных температурах, вызванных пожаром (б).

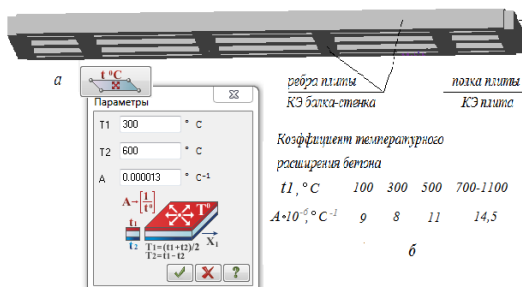


Рис. 2. К выполнению расчетов в ПК ЛИРА

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мкртычев О.В., Сидоров Д.С. Расчет железобетонного здания на температурные воздействия. – Вестник МГСУ, 2012, №5, С.50-55.
2. Плотников Д.А., Башева Т.С., Новиков Н.С. Характер воздействия пожаров на элементы железобетонных конструкций и средства их огнезащиты. – Вестник Института гражданской защиты Донбасса, 2016, №1, С.14-21.
3. Кудряшов В.А., Кураченко И.Ю. Аналитическая оценка несущей способности изгибаемых железобетонных конструкций после пожара. – Судебная экспертиза Беларуси, 2018, №1, С.56-60.
4. Кудряшов В.А., Жамойдик С.М., Кураченко И.Ю., Нгуен Т.К. Результаты натурных огневых испытаний железобетонного монолитного перекрытия в составе экспериментального фрагмента каркасного здания. – Вестник Университета гражданской защиты МЧС Беларуси, 2021, №1. С.49-66.
5. Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A. Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 052034.

Студент 4 курса 11 группы ИГЭСс Оберемко М.А.

Студент 4 курса 9 группы ИГЭСс Кожевников М.В.

Научный руководитель – доц., к.т.н., доцент А.В. Алексейцев

БЕЗОПАСНОСТЬ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ РАМ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ЛОКАЛЬНЫХ ПРОСАДОК ОСНОВАНИЯ

Проблеме обеспечения безопасности при особых воздействиях посвящается значительное число работ [1-3]. При этом в ряде работ рассматривается исключение опор без учета податливости основания, например [4]. Тем не менее реальная работа рамных конструкций предполагает наличие деформированного основания. Одной из аварийных ситуаций, встречающихся на практике, является локальная просадка основания. При этом в моделировании этого процесса могут использоваться как кусочно-постоянные, так и кусочно-переменные жесткости. Расчеты железобетонных конструкций при аварийных ситуациях являются достаточно трудоемкими, а вследствие их многократной статической неопределимости имеет место перераспределение жесткостей, что не позволяет подобрать сразу оптимальные параметры сечений и армирование, для чего можно использовать методы оптимизации [4-6].

В настоящей статье рассматривается вариант рационального проектирования железобетонной рамной конструкции на упругом основании при перманентной локальной просадке с использованием программного комплекса STARK ES

Алгоритм оценки НДС при аварийных ситуациях содержит ряд основных этапов:

- создание расчетной схемы и КЭ-модели; статический расчет конструкции при эксплуатационной нагрузке;
- определение динамического коэффициента на основе энергетического метода Г.А. Гениева, корректировка нагрузки с учетом динамического коэффициента;
- оценка прочности конструкции для эксплуатационной и аварийной нагрузки;
- выбор рационального поперечного сечения и армирования конструктивных элементов.

Рассматриваемые в данной работе системы имеют локальные повреждения, их расчет должен выполняться в постановке, учитывающей как физически и конструктивно нелинейные эффекты, так и большие перемещения. Динамический эффект от удаления связи может быть учтен на основе энергетического подхода Г.А. Гениева.

При условии нормальной работы основания (без просадок) примем модель, состоящую из фундаментных плит, колонн сечением 0.3x0.5, ригелей 0.3x0.3 м. Для колонн и ригелей применяются бетон

класса В25 и арматуры класса А-400. Схемой армирования является, установленная в углах симметричная арматура с диаметром 28 мм для ригелей и 25 мм для колонн и защитным слоем $a = 5$ см (рис. 1). Результат определения усилий представлен на рис. 2.

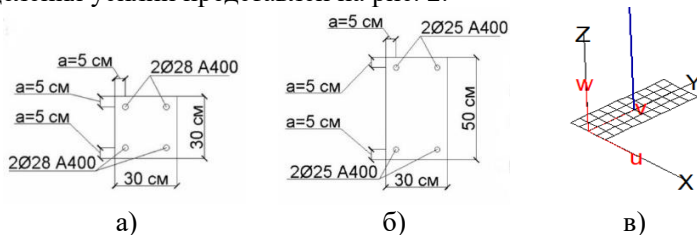


Рис. 1 Параметры сечения и арматуры для ригелей (а) и колонн (б) при нормальной работе основания

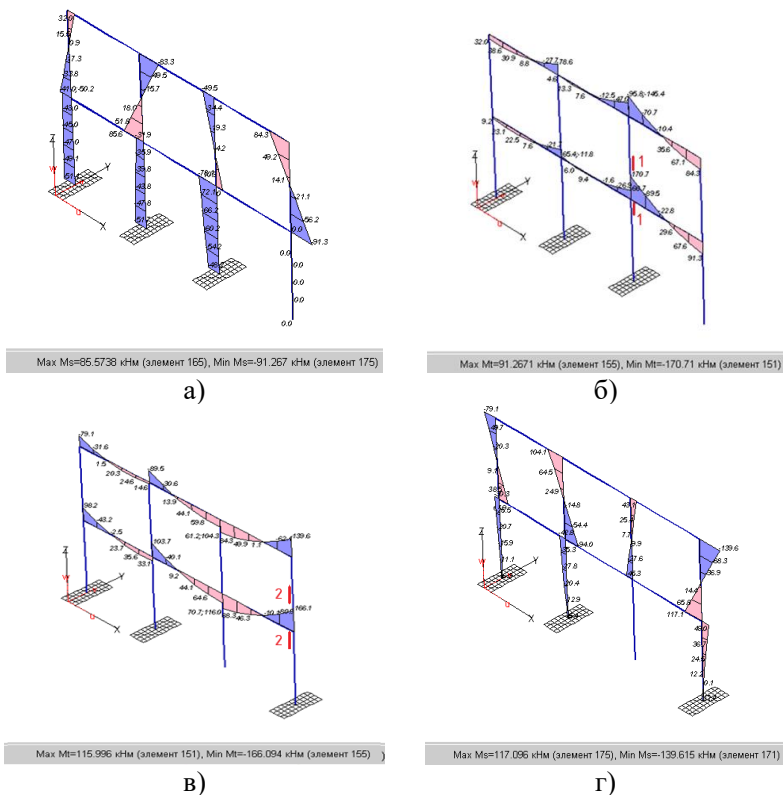


Рис. 3 Эпюры моментов при удалении из работы торцевой опоры для колонн (а) и ригелей (б); при удалении из работы рядовой опоры для ригелей (в) и колонн (г)

Результаты расчета стоимости C рамы при наличии упругого основания с учетом заданной величины стоимостного выражения риска $R=0,5U$, где U – материальный ущерб от аварии, приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты расчета на аварийные ситуации

	Удаление торцевой опоры		Удаление рядовой опоры	
	К	Р	К	Р
Характеристики элемента	0,3x0,5м В25, 4Ø40 А400	0,5x0,5м, В25, 4Ø40 А500	0,3x0,5м В25, 4Ø40 А400	0,5x0,5м В25, 4Ø40 А400
R, Р	28672		46144	
C+R, Р	199392		210144	

Расчеты показали, что при наличии жесткого основания стоимость рамы составила 193760 Р.

Вывод: Рассмотрение мгновенного исключения опор без учета податливости основания приводит к увеличению стоимости рамной конструкции по сравнению с проектом, где эта податливость учитывается, на 114 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
2. Alekseytsev A.V., Gaile L., Drukis P. Optimization of steel beam structures for frame buildings subject to their safety requirements // Magazine of Civil Engineering. 2019. № 7 (91). С. 3-15.
3. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.
4. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.
5. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.
6. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002

ДИНАМИКА ФИБРОБЕТОННЫХ ПЛИТ НА УПРУГО- ПЛАСТИЧЕСКИХ ОПОРАХ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ НАГРУЗКЕ С ПЕРЕМЕННЫМ ПЯТНОМ УДАРА

Расчёт и проектирование несущих конструкций с учетом обеспечения механической безопасности сооружений [1-3], в частности, защитных сооружений является актуальной инженерной и исследовательской задачей. На ее решение направлено большое число научных исследований, в частности рассмотрение импульсных воздействий [4, 5].

Нагрузки большей величины и интенсивности требуют использования материалов большей прочности, это ведет к увеличению стоимости строительных конструкций [6]. В качестве решения данной проблемы могут быть использованы опоры, демпфирующие динамические воздействия [7].

В данной работе представлен подход к численному моделированию железобетонных конструкций плит и балок с учетом наличия жестких и податливых опор. Выполнена оценка влияния демпфирующих эффектов на величины напряжений, деформаций и перемещений этих конструкций. Даны предложения по методике поиска рациональных параметров жёсткостей опор для динамических воздействий заданного типа и интенсивности с целью получения наименее материалоемких конструкций.

Приближенная оценка интенсивности динамической нагрузки возможна в виде импульса, передаваемого через грунт на конструкцию. Решение задачи в рамках метода конечных элементов реализуется на основе прямого интегрирования дифференциальных уравнений движения системы с учетом переменного во времени и по площади импульсного воздействия. Моделирование деформаций фибробетона выполнялось на основе теории пластичности Друкера-Прагера, материал арматуры и трубы принимался в виде стали с учетом билинейной диаграммы деформирования без упрочнения.

За основу взята структура типового решения по серии У 01-01-/80 «Унифицированные сборно-монолитные конструкции заглубленных помещений с перекрытиями балочного типа». Использовался фибробетон, имеющий сопротивление растяжению в 4 МПа, сопротивление сжатию 22 МПа.

Рассмотрим результаты моделирования напряженно-деформированного состояния плиты здания, имеющего защитное функциональное назначение и расположенного на некотором заглублении от поверхности грунта. Эксплуатационная нагрузка 15 кПа включает собственный вес плиты 3кПа, и вес грунта 12 кПа.

Геометрическая и расчетная схемы плиты показаны на рис. 1.

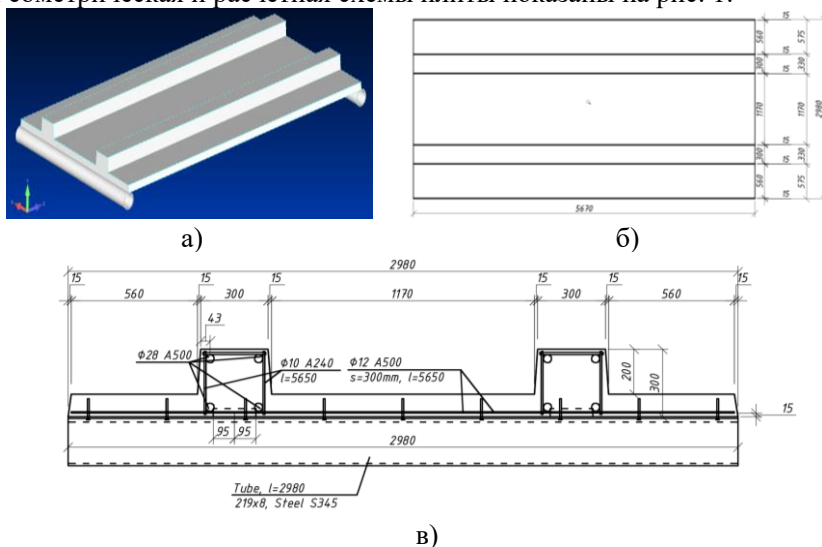


Рис 1. Плита покрытия заглубленного сооружения: а) твердотельная модель; б) план; в) поперечное сечение

Для динамического нагружения импульсной нагрузкой с переменным пятном удара разделим плиту на 5 участков (рис. 2, а), описывающих сценарий распространения импульса с помощью временных функций (рис. 2, б).

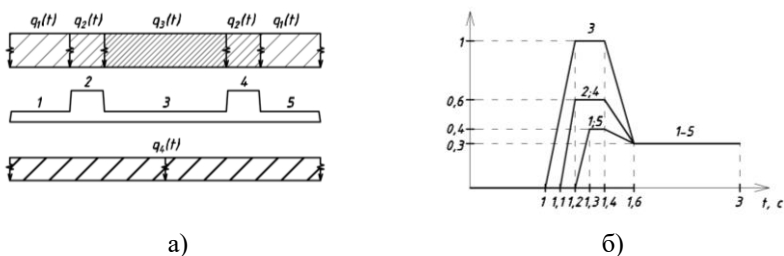


Рис 2. Схема приложения импульсной нагрузки

Динамический анализ выполнялся для двух случаев опорных закреплений: с опиранием плиты на податливую опору и с опиранием на жесткую опору. Расчет показал, что при уровне максимального импульса динамической нагрузки в 28 кПа*с система с жесткими опорами разрушается, в то время как с податливыми еще обладает несущей способностью.

В ходе работы был разработан подход к численному моделированию динамического поведения фибробетонных плит с учетом переменного во

времени пятна импульсной ударной нагрузки. Установлено, что при действии такой нагрузки введение податливых опор способствует повышению механической безопасности и снижению материалоемкости конструкций. Показана эффективность введения податливой опоры в виде круглой трубы, что привело к увеличению предельной импульсной нагрузки на 7,7% по сравнению с жестким опиранием. Предлагаемый подход представляется перспективным для эвристического [8] поиска рациональных параметров жесткостей опор и армирования.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Современные методы оптимизации конструктивных решений для несущих систем зданий и сооружений // Вестник МГСУ. 2020. Т. 15. № 1. С. 12-30.
2. Тамразян А.Г., Алексейцев А.В. Эволюционная оптимизация нормально эксплуатируемых железобетонных балочных конструкций с учетом риска аварийных ситуаций // Промышленное и гражданское строительство. 2019. № 9. С. 45-50.
3. Tamrazyan A., Alekseytsev A. Evolutionary optimization of reinforced concrete beams, taking into account design reliability, safety and risks during the emergency loss of supports // В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 04005.
4. Kumpyak O.G., Galyautdinov Z.R., Kokorin D.N. Strength of concrete structures under dynamic loading В сборнике: AIP Conference Proceedings. Proceedings of the II All-Russian Scientific Conference of Young Scientists "Advanced Materials in Technology and Construction". 2016. С. 070006.
5. Alekseytsev A.V. Mechanical safety of reinforced concrete frames under complex emergency actions // Magazine of Civil Engineering. 2021. № 3 (103). С. 10306.
6. Galyautdinov Z.R. Deformation of reinforced concrete slabs on yielding supports under short-time dynamic loading // В сборнике: AIP Conference Proceedings. 2017. С. 040002.
7. Тонких Г.П., Кумпяк О.Г., Галяутдинов З.Р. Расчет прочности защитных сооружений гражданской обороны на податливых опорах в виде сминаемых вставок кольцевого сечения // Технологии гражданской безопасности. 2020. Т. 17. № 4 (66). С. 94-97.
8. Alekseytsev A., Botagovsky M., Kurchenko N. Cost minimization for safety enhancing of timber beam structures in historical buildings В сборнике: E3S Web of Conferences. 22nd International Scientific Conference on Construction the Formation of Living Environment, FORM 2019. 2019. С. 03002.

Студент 1 курса 22 группы ИСА Саркисов Д.А.

Научный руководитель – доц., к.т.н., доц. А.В. Грановский

ПРОЧНОСТЬ АНКЕРНЫХ КРЕПЛЕНИЙ ПРИ ВЫРЫВЕ ИЗ КИРПИЧНОЙ КЛАДКИ

Большой объем исследований в области применения анкерного крепления для конструкций из железобетона позволил разработать нормативные документы по проектированию анкерных креплений в железобетонные конструкции и по методам их испытаний. Однако, в части применения анкеров в каменных конструкциях осталось много вопросов, ответы на которые возможны только после проведения детальных экспериментальных исследований. Проблема решения указанного вопроса обусловлена наличием большого количества факторов, влияющих на прочность анкерных креплений и связанных с особенностями каменной кладки:

- a) Наличие двух компонентов (раствор, кирпич (камень)), влияющих на прочность кладки;
- b) разнообразная геометрическая конфигурация внутренней структуры пустотелых кирпичей и камней;
- c) Разнообразие прочностных и деформационных характеристик различных видов каменных материалов (прочность, плотность, влагонасыщение и т.д.).

Анализ результатов экспериментальных исследований узлов креплений с помощью химических анкеров, показал следующие результаты [1,2]:

1) В зависимости от глубины заделки и диаметра анкера разрушение конструкции анкерного узла может происходить по следующим трем схемам:

1-я схема: Разрушение кирпича по длине с вырывом анкера в тычковую грань кирпича марки М150 – М200. При этом прочность анкерного узла регламентируется прочностью кирпича на растяжение. Указанная величина не нормируется существующим СП 15.13330.2020;

2-я схема: Выкол кирпичной лещадки конической формы с высотой конуса от 16 до 50 мм. Указанная схема разрушения узла характерна для варианта заделки анкера в ложковую грань кирпича;

3-я схема: Разрыв анкера при отсутствии каких-либо повреждений кирпича.

2) Характер деформаций и разрушения анкерного узла в процессе его нагружения позволяет выделить следующие этапы его работы:

1 этап: Анкерный узел работает в упругой стадии. Как показали испытания при продольной нагрузке на анкер, составляющей $\left(\frac{1}{3} - \frac{1}{2,5}\right)$

$N_{\text{разр}}$, с последующей разгрузкой кривые деформации кладки практически совпадают;

2 этап: Нагружение до величины продольного, относительно оси, анкера усилия, составляющего 60-70% от предельной разрушающей нагрузки, происходит концентрация напряжений с образованием микротрещин в кирпиче в зоне контакта с анкером на глубине 25-85 мм от внешней поверхности стены. В момент образования трещин в процессе испытаний фиксировался скачок деформаций узла и отмечалось незначительное падение нагрузки;

3 этап: Работа анкерного узла, из-за развития трещин в поперечном сечении кирпича и снижении его жесткости, практически большая часть усилия передавалась через конец анкера (за поверхность выкола) на контактную поверхность клевого заполнителя и кирпича. В результате, из-за малой площади контакта происходил вырыв конца анкера из кладки с одновременным выколом кирпичной лещадки, имеющей, в основном, коническую форму.

3) Угол наклона граней конических лещадок, вырванных из кладки, к плоскости, перпендикулярной анкеру, изменялся от 16° до 32°.

4) При увеличении марки кирпича с М100 до М200 несущая способность анкерного узла при вырыве анкера зависит от глубины заделки и диаметра анкеров и увеличивается в среднем на 30-35% (рисунок 1).

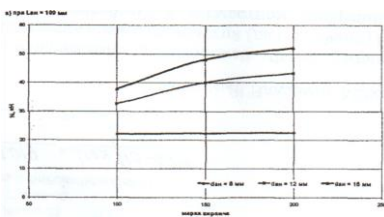


Рис. 1. График зависимости величины нагрузки на химический анкер, установленный в образцы из полнотелого кирпича от марки кирпича

Для оценки разрушающего усилия при вырыве анкеров из каменной кладки авторами ГОСТ [3] предложена формула:

$$N_i = N_{\text{исп}} \times \frac{R}{R_i}$$

где R – значение прочности камня (кирпича), соответствует марке камня; R_i – значение прочности камня по результатам испытаний; $N_{\text{исп}}$ – значение разрушающего усилия при проведении испытаний.

Предложенная зависимость не отражает реальных параметров кладки, влияющих на несущую способность анкера на вырыв: не учтены

прочностные параметры раствора, геометрия шва, коэффициент $\left(\frac{R}{R_i}\right)$ достаточно условен, ибо реальная прочность кирпича и ее проектное значение – это два независимых параметра.

Из зарубежных нормативов наибольший интерес представляют положения по расчету пластиковых и клеевых анкеров, приведенные в [4,5].

Расчетную силу сопротивления анкера из кладки определяют следующим образом:

$$R_d = \frac{R_k}{\gamma_M}$$

где R_k – нормативная сила сопротивления одиночного анкера или группы анкеров;

γ_M – частный коэффициент надежности для материала.

Отечественные и европейские нормы не учитывают влияние прочностных параметров элементов кладки (раствор, кирпич, камень) на несущую способность анкеров при вырыве и сдвиге при установке их в каменную кладку.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Балларини Р., Шах С.П., Кир Л.М.* Характеристики разрушения коротких анкерных болтов, заделанных в хрупкий материал // Королевское общество. 1986. С. 35-54.

2. *Элигехаузен Р., Саваде Г.А.* Механика разрушения, основанная на описании поведения при выдергивании шпилек с головкой, встроенных в бетон // Механика разрушения бетонных конструкций. 1989. С. 281-299.

3. *Тамразян А.Г., Орлова М.А.* Экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния железобетонных изгибаемых элементов с трещинами. Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 6 (53). С. 98-105.

4. *Тамразян А.Г., Дехтерев Д.С., Карпов А.Е., Ласковенко А.Г.* Определение расчетных параметров для оценки надежности платформенных стыков панельных зданий. В сборнике: Современные проблемы расчета железобетонных конструкций, зданий и сооружений на аварийные воздействия. Под редакцией А.Г. Тамразяна, Д.Г. Копаницы. 2016. С. 413-416.

5. *Tamrazyan A.G., Avetisyan L.A.* Behavior of compressed reinforced concrete columns under thermodynamic influences taking into account increased concrete deformability. В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 21, Construction - The Formation of Living Environment. 2018. С. 052034.

СЕКЦИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

*Студенты 1 курса специалитета 63 группы ИСА Вагнер А.А.,
Чумаченко М.А.*

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. И.В. Степина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАСТВОРИМОСТИ НЕКОТОРЫХ ПОЛИМЕРОВ

В настоящее время широко используются композитные материалы, состоящие из двух и более разнородных по составу и свойствам полимеров. Свойства таких композиций обуславливаются совместимостью компонентов в нее входящих и взаимной растворимостью полимеров [1, 2].

Низкая энтропия смешения разнородных полимеров в составе композиций приводит к термодинамической несовместимости, и, как следствие, к ухудшению свойств конечного продукта [3].

Если пара полимеров характеризуется близкими значениями полярности макромолекул, содержат в своем составе родственные функциональные группы или же способны образовывать различного рода химические связи между элементарными звеньями, например, ковалентные связи по донорно-акцепторному механизму или водородные связи, то с большой вероятностью можно утверждать, что такие полимеры будут совместимы и образуют прочную композицию [3, 4]. Но, как известно из литературных источников [5], даже при условии выполнения всех перечисленных требований, полимеры могут быть несовместимы.

Известно, что химическая совместимость полимеров обусловлена в первую очередь их взаимной растворимостью. В работе определялись параметры растворимости ($\delta_{П1}$) поливинилацетата (ПВА) и полиуретана (ПУ) в соответствии с теоретическими положениями, изложенными в [6]. Согласно источнику, параметр растворимости Гильдебранда $\delta_{П1}$ рассчитывается по формуле (1) [8]:

$$\delta_{П1} = \sqrt{\frac{\sum_i E_i^*}{N_A \cdot \sum_i \Delta V_i}} \quad (1)$$

где $E^* = k\Delta E_0$ – энергия когезии жидкости или повторяющегося звена полимера, уменьшенная во столько раз, во сколько ван-дер-ваальсов объем молекулы или звена меньше мольного объема; k – коэффициент молекулярной упаковки жидкости или полимера, N_A – число Авогадро, ΔV_i – Ван-дер-Ваальсов объем повторяющегося фрагмента полимера.

Ван-дер-Ваальсов объем атома ΔV_i рассчитывается по формуле (2) [8]:

$$\Delta V_i = \frac{4}{3} * \pi R^3 - \sum_i \pi h_i^2 (3R - h_i) \quad (2)$$

где R – межмолекулярный радиус данного атома, h_i – высота шарового сегмента, который отсекается на данном атоме соседним химически связанным с ним атомом.

Величина h_i вычисляется по формуле (3) [8]:

$$h_i = R - \frac{R^2 + d_i^2 - R_i^2}{2d_i} \quad (3)$$

где R_i – межмолекулярный радиус соседнего, химически связанного атома; d_i – длина химической связи.

На рисунке 1 показаны структуры элементарных звеньев ПВА и ПУ, по которым проводились расчеты.

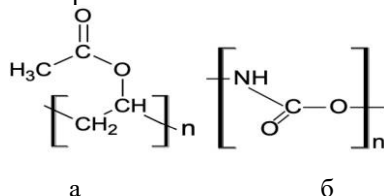


Рисунок 1. Структуры ПВА (а) и ПУ (б)

По формулам (2) и (3) был рассчитан Ван-дер-Ваальсов объем повторяющегося фрагмента ПВА:

$$\sum_i \Delta V_i = \Delta V_{C^1} + \Delta V_{C^2} + 6 * \Delta V_H + \Delta V_{O^1} + \Delta V_{O^2} + \Delta V_{C^3} + \Delta V_{C^4}$$

$$\sum_i \Delta V_i = 15.93 + 17.2 + 2 * 2,01 + 5,84 + 3.32 + 12,2 + 13,1$$

$$\sum_i \Delta V_i = 79.65 \text{ \AA}^3$$

Энергия когезии рассчитывалась в соответствии с [8]:

$$\sum_i \Delta E_i^* = 2 * \Delta E_O^* + 6 * \Delta E_H^* + 4 * \Delta E_C^* + \Delta E_d^*$$

$$\sum_i \Delta E_i^* = 2 * 596 + 6 * 200 + 4 * 2300 + 6780$$

$$\sum_i \Delta E_i^* = 18372 \text{ Дж/моль}$$

Параметр растворимости Гильдебранда (δ_{II}) рассчитывали по соотношению (1):

$$\delta_{II(\text{ПВА})} = \sqrt{\frac{\sum_i E_i^*}{N_A * \sum_i \Delta V_i}} = \sqrt{\frac{18372}{0.6023 * \sum_i \Delta V_i}} = \sqrt{\frac{18372}{0.6023 * 79.65}}$$

$$\delta_{II(\text{ПВА})} = 19.57 \text{ (Дж/см}^3\text{)}^{1/2}$$

Для ПУ расчеты параметра растворимости представлены ниже. Ван-дер-Ваальсов объем повторяющегося фрагмента ПУ будет равен:

$$\begin{aligned}\sum_i \Delta V_i &= \Delta V_C + \Delta V_{O'} + \Delta V_{O''} + \Delta V_N + \Delta V_H \\ \sum_i \Delta V_i &= 17.4 + 5.8 + 3.32 + 5 + 3.5 \\ \sum_i \Delta V_i &= 35.1 \text{ \AA}^3\end{aligned}$$

Энергия когезии:

$$\begin{aligned}\sum_i \Delta E_i^* &= 2 * \Delta E_O^* + \Delta E_H^* + \Delta E_C^* + \Delta E_N^* + \Delta E_d^* \\ \sum_i \Delta E_i^* &= 2 * 596 + 200 + 2300 + 5040 + 6780 \\ \sum_i \Delta E_i^* &= 15512 \text{ Дж/моль} \\ \delta_{\text{П(ПУ)}} &= \sqrt{\frac{\sum_i E_i^*}{N_A * \sum_i \Delta V_i}} = \sqrt{\frac{15512}{0.6023 * \sum_i \Delta V_i}} = \sqrt{\frac{15512}{0.6023 * 35.1}} \\ \delta_{\text{П(ПУ)}} &= 27.09 \text{ (Дж/см}^3\text{)}^{1/2}\end{aligned}$$

Полученные значения параметров растворимости ПВА и ПУ будут использованы для предсказания совместимости этих полимеров при составлении композиций на их основе.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Берлин А.А., Вольфсон С.А., Ениколопов Н.С. Принципы создания полимерных композиционных материалов. М.: Химия, 1990. 240с.
2. Клячкин Ю.С., Шендрик Е.Н., Структура и свойства композитов на основе дисперсных систем. М.:Химия, 1992. 230с.
3. Гладышев Г.П., Ершов Ю.А. Полимерные материалы. М.: Химия, 2001. 210с.
4. А.А. Askadskii. Physical Properties of Polymers. Prediction and Control. Gordon and Breach, New York. 1996. P.129.
5. Olabisi O., Robesori L.M., Shaw M.T. // Polymer – Polymer Miscibility. New York – London – Toronto – Sydney – San Francisco: acad. Press, 1989. P.19.
6. Аскадский А.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования: Учебное издание. / Под общ. ред. А.А. Аскадского. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 408 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ТЯЖЁЛОГО БЕТОНА ДЛЯ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

Гидротехническое строительство специализируется на создании объектов для использования природных водных ресурсов, а также для предотвращения или уменьшения вредного воздействия воды на окружающую среду. Существенным отличием гидротехнических сооружений от других инженерных сооружений заключается в том, что в период эксплуатации они подвергаются механическому, физико-химическому и биологическому воздействию вод. Поэтому материалы, используемые для гидротехнического строительства, должны удовлетворять ряду требований в соответствии с условиями эксплуатации.

Бетонные и железобетонные конструкции – неотъемлемая часть гидротехнических сооружений. Объёмы укладываемого бетона на крупных гидротехнических объектах достигают нескольких млн кубометров. Например, для строительства Саяно-Шушенской ГЭС потребовалось 10,5 млн м³ бетона, а при возведении Красноярской ГЭС объём выполненных бетонных работ составил 5,7 млн м³.

Особенности гидротехнического бетона обусловлены тем, что материал подвергается не только большим динамическим и статическим нагрузкам, но и воздействию водной среды, которое может быть как постоянным, так и периодическим, а также большим температурным колебаниям. Поэтому кроме требований прочности к нему предъявляют требования по водонепроницаемости, морозостойкости, подвижности и трещиностойкости. Для удовлетворения этих требований подбираются материалы определённого качества.

Гидротехнический бетон классифицируют в зависимости: 1) *от расположения в сооружении по отношению к уровню воды*: а) подводный, б) зоны переменного уровня воды, в) надводный, находящийся выше зоны переменного уровня воды и (или) подвергающийся воздействию водяных паров; 2) *от действующего на конструкцию напора воды*: а) бетон напорных конструкций, б) безнапорных конструкций; 3) *от массивности конструкции*: а) бетон массивный; б) бетон немассивный.

В зависимости от предъявляемых технических требований определяют класс прочности гидротехнического бетона, находящийся в диапазоне от В10 до В60 и показывающий, какую гарантированную нагрузку на сжатие способен выдержать испытываемый образец.

Диапазон изменения марки по морозостойкости гидротехнического бетона: F50 - F1000. Марка устанавливается исходя из климатических условий района строительства, характеризующихся среднемесячной температурой наиболее холодного месяца. С применением различных добавок, например, нитрата кальция CaN_2O_6 и нитрата калия KNO_3 , получается достичь наивысших показателей морозостойкости.

Марку по водонепроницаемости назначают в соответствии с напорным градиентом и температурой эксплуатации. Установлены следующие марки гидротехнического бетона по водонепроницаемости: W2, W4, W6, W8, W12. Максимальное значение достигается увеличением процентной доли цемента и использованием в растворе разнообразных пластификаторов и кольматирующих добавок.

При строительстве крупногабаритных гидротехнических сооружений испытываемые образцы набирают свою прочность в течение 180 суток.

В массивных конструкциях выделяют бетон внутренней и наружной зон. Бетон наружных частей гидротехнических сооружений находится в зоне переменного уровня воды. К нему предъявляют наиболее высокие требования по прочности (от B20 и выше), по морозостойкости (марки от F150) и по водонепроницаемости (марки от W6). Физико-механические свойства бетона внутренней зоны ниже наружной: B7,5 и W2.

Цемент – важный компонент в составе любого вида бетона, который определяется исходя из условий предстоящей эксплуатации. В гидротехнической отрасли строительства сульфатостойкие составы предназначены для конструкций, периодически находящихся в контакте с жёсткой водой; высококачественный портландцемент, в составе которого имеются пластификаторы, используют для возведения частей сооружения, пребывающих в зоне переменного уровня и контактирующих с водой при низкой температуре; гидрофобные растворы применяют для строительства конструкций, постоянно находящихся в водной среде и испытывающих повышенное давление; пуццолановые смеси используют для возведения объектов, неразрушающихся под действием жёсткой воды.

В роли заполнителя для гидротехнического бетона применяют песок только мелкой фракции – до 2 мм. С его помощью увеличивается водостойкость состава. Другие виды песка снижают влагоустойчивость и плотность. В качестве крупного заполнителя используется гранитный щебень, благодаря которому увеличивается показатель морозостойкости и прочности. Он устойчив к температурным скачкам, с его применением нагрузка по площади монолита распределяется равномерно и не происходит разрушений на морозе.

Добавки, вводимые в бетонную смесь, определяются теми технико-эксплуатационными свойствами, которые необходимо улучшить для данной конструкции. Существуют добавки, называемые пластификаторами, при использовании которых улучшаются сразу несколько свойств: эластичность массы, сцепление с армированными поверхностями, морозостойкость и водонепроницаемость.

Большая часть гидротехнических сооружений имеет внушительные размеры, из-за чего их невозможно возвести непрерывно за один раз. Для того, чтобы качественно возвести массивную и протяжённую конструкцию, её разрезают на секции, создавая таким образом условия для бетонирования по частям. Система разрезки и размеры блоков бетонирования определяются в зависимости от климатических и строительных условий с целью недопущения появления трещин в сооружениях. Базовая схема укладки бетона в гидротехническом строительстве состоит из трёх основных этапов: 1. укладка бетонной смеси слоями в соответствии со схемами разрезки; 2. штыкование материала для устранения из него лишнего воздуха и влаги; 3. уплотнение бетона с использованием виброинструментов.

Отличительной особенностью гидротехнического бетона является его долгий срок затвердевания, составляющий от 60 до 180 дней. С одной стороны, это оказывает положительное влияние на конструкцию, так как улучшаются прочностные характеристики, но с другой стороны - увеличиваются сроки строительства.

К достоинствам гидротехнического бетона относятся: его устойчивость к воздействию влаги, резким перепадам температур и высокая морозостойкость. Недостатками данного материала являются: высокая стоимость строительства, необходимость определённых знаний и навыков для соблюдения технологий производства и возможности использования специального оборудования.

В настоящее время гидротехнический бетон находит широкое применение в гидротехнической отрасли современного строительства и представляет собой материал высокого качества, создание которого ответственная и непростая задача.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Правдивец Ю.П.* Введение в гидротехнику: Учебное пособие. 3-е изд., испр. и доп. – М.:, Издательство АСВ, 2009. – 288 с.
2. *Розанов Н.П., Бочкарев Я.В., Лапшиников В.С. и др.* Гидротехнические сооружения. Под ред. Н.П. Розанова. – М.: Агропромиздат, 1985. – 432 с., ил. (Учебник и учебн. пособия для высш. с.-х. учебн. заведений)
3. *Давидсон А.Г.* Водонепроницаемый бетон. 1965.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОВМЕСТИМОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ С ПОЛИВИНИЛАЦЕТАТОМ

Целлюлозные материалы находят широкое применение для создания биопозитивных композитов на их основе [1-3]. При этом первостепенное значение имеет совместимость природного сырья и полимерного связующего, для прогнозирования которой возможно использование математического аппарата, развитого в работах [4-6]. Согласно приведенным литературным источникам, совместимость полимеров определяется соотношением величин поверхностного натяжения γ , параметра растворимости δ и молярного объема V их макромолекул. В представленной работе были рассчитаны перечисленные параметры для целлюлозы и поливинилацетата (ПВА) и установлена возможность создания устойчивых композитов при различных молярных соотношениях исходных компонентов.

Структуры элементарных звеньев целлюлозы и ПВА представлены на рисунке 1.

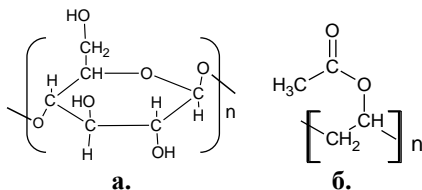


Рисунок 1. Структуры элементарных звеньев: а. – целлюлозы; б. - ПВА

С учетом длин химических связей и межмолекулярных радиусов атомов [3] были рассчитаны Ван-дер-Ваальсовы объемы следующих атомов. Атома водорода, химически связанного с атомом кислорода:

$$\Delta V_{H'} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,17^3 - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,853^2 * (3 * 1,17 - 0,853);$$

$$\Delta V_{H'} = 4,7 \text{ \AA}^3.$$

Атома кислорода, химически связанного с атомами С и Н:

$$\Delta V_{O'} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,36^3 - \frac{1}{3} * 3,14 * 1,074^2 * (3 * 1,36 - 1,074) - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,598^2 * (3 * 1,36 - 0,598);$$

$$\Delta V_{O'} = 5,6 \text{ \AA}^3.$$

Атома углерода, химически связанного с атомами О, Н и С:

$$\Delta V_{C'} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,8^3 - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,586^2 * (3 * 1,8 - 0,586) - \frac{2}{3} * 3,14 * 0,394^2 * (3 * 1,8 - 0,394) - \frac{1}{3} * 3,14 * 1,03^2 * (3 * 1,8 - 1,03);$$

$$\Delta V_{C'} = 16,21 \text{ \AA}^3.$$

Атома водорода, химически связанного с атомом углерода:

$$\Delta V_{H''} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,17^3 - \frac{1}{3} * 3,14 * 1,496^2 * (3 * 1,17 - 1,496);$$

$$\Delta V_{H''} = 2,0 \text{ \AA}^3.$$

Атома углерода, химически связанного с атомами кислорода и водорода и углерода:

$$\Delta V_{C''} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,8^3 - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,586^2 * (3 * 1,8 - 0,586) - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,394^2 * (3 * 1,8 - 0,394) - \frac{2}{3} * 3,14 * 1,03^2 * (3 * 1,8 - 1,03);$$

$$\Delta V_{C''} = 12,17 \text{ \AA}^3.$$

Атома кислорода, химически связанного с атомами углерода и углерода:

$$\Delta V_{O''} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,36^3 - \frac{2}{3} * 3,14 * 1,073^2 * (3 * 1,36 - 1,073);$$

$$\Delta V_{O''} = 3,32 \text{ \AA}^3.$$

Атома углерода, химически связанного с атомами кислорода и водорода и углерода:

$$\Delta V_{C'''} = \frac{4}{3} * 3,14 * 1,8^3 - \frac{2}{3} * 3,14 * 0,586^2 * (3 * 1,8 - 0,586) - \frac{1}{3} * 3,14 * 0,394^2 * (3 * 1,8 - 0,394) - \frac{1}{3} * 3,14 * 1,03^2 * (3 * 1,8 - 1,03);$$

$$\Delta V_{C'''} = 15,29 \text{ \AA}^3.$$

Тогда Ван-дер-Ваальсов объем повторяющегося фрагмента целлюлозы будет равен:

$$\sum_i \Delta V_i = 3 * \Delta V_{H'} + 3 * \Delta V_{O'} + 1 * \Delta V_{C'} + 6 \Delta V_{H''} + 4 \Delta V_{C''} + 3 * \Delta V_{O''} + \Delta V_{C'''};$$

$$\sum_i \Delta V_i = 3 * 4,7 + 3 * 5,6 + 1 * 16,21 + 6 * 2 + 4 * 12,17 + 3 * 3,32 + 1 * 15,29;$$

$$\sum_i \Delta V_i = 133,04 \text{ \AA}^3.$$

На основании значений Ван-дер-Ваальсова объема были рассчитаны параметры растворимости и поверхностного натяжения [3] для элементарного звена макромолекулы целлюлозы. Аналогичные расчеты выполнялись для ПВА. Результаты проведенных вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры совместимости целлюлозы и ПВА

целлюлоза		ПВА		параметры			
$\delta_{п1}$	$\gamma_{п,1}$	$\delta_{п,2}$	$\gamma_{п,2}$	Φ	β_1	μ_1	$1,374\beta_1$
21,14	27,13	19,57	32,55	0,993	0,906	1,167	1,245
					β_2	μ_2	$1,374\beta_2$
					0,884	0,857	1,214

Совместимость наблюдается, если при введении целлюлозы (полимер 1) в ПВА (полимер 2), т.е. при избытке ПВА выполняется условие:

$$\mu_1 = \frac{\delta_{п,1}^2}{\delta_{п,2}^2} < 1.374\beta_1 \quad (1)$$

и при введении ПВА в целлюлозу, т.е. при избытке целлюлозы:

$$\mu_2 = \frac{\delta_{п,2}^2}{\delta_{п,1}^2} < 1.374\beta_2 \quad (2)$$

Где δ_1 и δ_2 - параметры растворимости целлюлозы и ПВА соответственно.

Согласно источнику [3]:

$$\beta_1 = \Phi \left(\Phi - \sqrt{\Phi^2 + \frac{\gamma_{п,1}}{\gamma_{п,2}} - 2\Phi \left(\frac{\gamma_{п,1}}{\gamma_{п,2}} \right)^{0,5}} \right) \quad (3)$$

$$\beta_2 = \Phi \left(\Phi - \sqrt{\Phi^2 + \frac{\gamma_{п,2}}{\gamma_{п,1}} - 2\Phi \left(\frac{\gamma_{п,2}}{\gamma_{п,1}} \right)^{0,5}} \right) \quad (4)$$

Где $\gamma_{п,1}$ и $\gamma_{п,2}$ - поверхностные энергии полимеров 1 и 2 соответственно. Значение Φ (5) рассчитывается через отношение молярных объемов полимеров [3]:

$$\Phi = \frac{4(V_{п,1}V_{п,2})^{1/3}}{(V_{п,1}^{1/3} + V_{п,2}^{1/3})^2} \quad (5)$$

Где $V_{п,1}$ и $V_{п,2}$ - молярные объёмы полимеров 1 и 2 соответственно.

Из полученных данных (таблица 1) видно, что целлюлоза и ПВА совместимы и при избытке целлюлозы и при избытке ПВА.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Мухаметрахимов Р.Х., Дикина А.Н. Технология изготовления гипсоволокнистых листов на основе целлюлозных волокон // Вестник Казанского технологического университета. 2015. №15. С.91-94.
2. Глухих В.В., Шкуро А.Е., Гуда Т.А., Стоянов О.В. Получение, свойства и применение биоразлагаемых древесно-полимерных композитов // Вестник Казанского технологического университета. 2012. №9. С.75-82.
3. Мороз П.А., Аскадский А.А., Мацевич Т.А., Соловьева Е.В., Аскадский А.А. Применение вторичных полимеров для производства древесно-полимерных композитов // Пластические массы. 2017. №(9-10). С.56-62.
4. Аскадский А.А., Попова М.Н., Кондращенко В.И. Физико-химия полимерных материалов и методы их исследования: Учебное издание. / Под общ. ред. А.А. Аскадского. – М.: Издательство АСВ, 2015. – 408 с.
5. Аскадский А.А., Кондращенко В.И. Компьютерное материаловедение полимеров. Т.1. Атомно- молекулярный уровень. М.: Научный Мир. 1999. 543 с.
6. Askadskii A.A. Computational Materials Science of Polymers. Cambridge, Cambridge International Science Publishing Ltd. 2003. 695 pp.

ИЗУЧЕНИЕ ВОПРОСА БИОДЕСТРУКЦИИ БИТУМА

Битум — это твёрдый или смолообразный продукт, смесь углеводородов и их азотистых, кислородистых, сернистых и металлосодержащих производных, преимущественно чёрного или тёмно-коричневого цвета [1].

Существуют природные и искусственные(нефтяные) битумы. Природные битумы встречаются в местах нефтяных месторождениях, являясь продуктами естественных реакций полимеризации нефти.

Нефтяные битумы получают путем переработки нефти, выделением гудрона при её нагревании [2].

И природные и нефтяные битумы имеют следующий элементарный состав (Таблица 1).

Таблица 1

Элементарный состав битумов [1]

Наименование химического элемента	% содержание
Углерод, С	70-80%
Водород, Н	10-15%
Сера, S	2-9%
Азот, N	до 2%
Кислород, О	1-5%

Углеводородные соединения, образующие битум, можно разделить на три группы: твёрдая составляющая, смолы и масляные фракции. Битумы - дисперсная систем: дисперсионная среда - масла и смолы, асфальтены и парафины – дисперсная фаза. Самым ценным свойством битумов, а также битумных материалов, является химическая стойкость к воздействию агрессивных веществ, которые вызывают разрушение (в том числе коррозию металлов) многих строительных материалов [1].

Битум - аморфное вещество, у него нет температуры плавления. Он переходит из твёрдого в жидкое состояние при температуре размягчения.

Битумы используются как гидроизолирующие материалы для строительства, при производстве кровельных материалов, лаков и красок, но главное - в дорожном строительстве. являясь составным компонентом асфальтобетонов [2,3,4].

Одним из видов разрушения битума является старение. Старение битума представляет собой совокупность изменений структуры и физико-химических свойств битума (снижение пенетрации, повышение

температуры размягчения, повышение хрупкости, затвердевание битума) [5,6].

Старение приводит к биодеструкции битума. В связи с тем, что битумы являются производными нефти, биодеструкцию совершают агенты-биодеструкции нефти. Наиболее активно разрушение материалов на основе битума происходит в процессе протекания окислительно-восстановительных реакций под воздействием грибов, бактерий и дрожжевых микроорганизмов [2,4].

подавляющее большинство материалов на основе углеводородов и продуктов перегонки нефти подвергаются активному разрушительному воздействию со стороны микроорганизмов.

Одним из самых «агрессивных» разрушителей производных нефти, в том числе битумов являются бактерии штаммов *Acinetobacter*. Данный вид бактерий способен заселять материалы, поверхности которых токсичны для большинства микроорганизмов, а также продуцировать такие вещества, которые повышают растворимость углеводородов в воде (Рис.1).

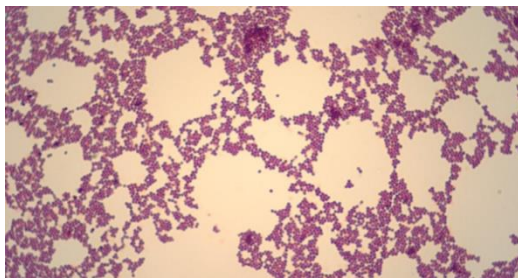


Рисунок 1. Ацинобактеры [2]

Микроскопические грибы *потребляют нефть как источник энергии, метаболит-продукт их жизнедеятельности. Споры мицелиарных грибов и мицетов проникают в невидимое глазу пространство и выделяют органические кислоты [7].*

Известно, что наиболее быстро микроорганизмы развиваются в условиях повышенной влажности. Сухой материал в меньшей степени подвержен биоповреждениям [3].

Результаты исследования показали, что грибостойкость падает с повышением молекулярной массы. Интенсивность разрастания грибной колонии фиксируют через некоторое время после нанесения суспензии спор грибов на поверхность образца. Моделирование деструкции битума можно проводить, помещая битум в органические кислоты [5].

Рассмотрев данный вопрос можно сделать вывод о том, что битумы представляют собой хорошую питательную среду для разного рода

микроорганизмов, а сам процесс разрушения битума называется биодеструкцией. Также можно говорить о том, что способность битумных производных проявлять устойчивость к разрушению под воздействием микроорганизмов тем меньше, чем выше молекулярная масса углеводорода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Потехин В.* Вторая индустриализация России. Битум: характеристики и виды. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=37562>

2. Техническая библиотека. Нефтехимия. Битум. ГОСТ 22245-90. ГОСТ 6671-76. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://neftegaz.ru/tech-library/neftekhimiya/142272-bitum-ot-lat-bitumen-gornaya-smola-neft/>

3. *Ерофеев В.Т., Богатов А.Д., Федорцов А.П., Пронькин С.П.* Исследование механизмов повреждения битумных композитов в условиях воздействия биологических агрессивных сред. 2015. № 2-13. С. 2787-2800.

4. *Логинова О.О., Данг Т.Т., Белоусова Е.В., Шалимова С.С., Шевченко М.Ю., Грабович М.Ю.* Биодegradация нефтепродуктов в почве штаммами микроорганизмов рода *Acinetobacter*. Организация и регуляция физиолого-биохимических процессов: межрегиональный сборник научных работ. Воронеж: 2010. С. 129–136.

5. *Петрунин Д.А.* Стойкость материалов на основе битумных связующих в условиях воздействия биологически агрессивных сред. 2006. С. 7-8;

6. *Рыбачук Н.А.* Старение битумного вяжущего. Вестник Иркутского Государственного Технического Университета. 2015. №2 (97). С.120-125.

7. *Ерофеев В.Т., Смирнов В.Ф., Морозов Е.А.* Микробиологическое разрушение материалов. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. 125 с.

СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Современный этап развития строительного материаловедения предполагает разработку и активное внедрение в эксплуатацию материалов, способных работать и сохранять свои характеристики в достаточно экстремальных условиях. Как известно, площадь Российской Федерации, покрытая многолетней мерзлотой, составляет около 11 млн. кв. км - это огромные территории севера Западной и Восточной Сибири и Заполярья, включающие такие крупные города и области как Мурманск, Норильск и Кировск, республика Саха. Суровые природные условия формируют особенности развития этих регионов, главным образом, транспортной и строительной инфраструктуры, которая, в свою очередь, нуждается в высокотехнологичных строительно-конструкционных материалах [1,2].

Для данных целей актуально использовать мелкозернистый бетон, который характеризуется высокими показателями прочности, плотности, морозостойкости, водонепроницаемости. Повысить перечисленные эксплуатационные характеристики возможно путем модифицирования цементных композитов различными по составу и природе компонентами [3].

По данным автора [4] эффективной высокодисперсной минеральной добавкой к мелкозернистым бетонам может считаться сапонит-содержащий материал, выделенный из оборотной воды процесса обогащения кимберлитовых руд. Выделенный компонент на основе сапонитсодержащих отходов сушили до постоянной массы 105°C, а затем измельчали в планетарной шаровой мельнице. Полученную добавку смешивали с бетонной смесью и исследовали свойства образцов. Результаты показали, что прочностные характеристики опытных образцов превышают характеристики контрольного образца в 1,6 раза. Морозостойкость повысилась с марки F100 до F300, водонепроницаемость с W6 до W10.

Авторами [5] исследовано влияние суперпластификаторов на основе эфиров поликарбоксилатов на долговечность цементных материалов и установлено, что введение данного полимера способствует увеличению количества циклов замораживания-оттаивания без сброса прочности образцов и, следовательно, повышению марки по морозостойкости. Авторами [6] разработан быстротвердеющий бетон класса по прочности на сжатие B55 с маркой по морозостойкости F₂ 400 (F₁ 1000) на основе шлакопортландцемента с применением комплексных мер, включающих

оптимальный подбор тонкости помола гранулированного доменного шлака и активных минеральных добавок, точное дозирование суперпластификатора.

Производство строительных материалов для арктических широт позволяет рассматривать лед как природный минерал с уникальными характеристиками: он является легким строительным материалом, самым широкораспространенным минералом, для его образования требуются только вода и низкие температуры, для льда характерен рост прочности с понижением температуры. Еще в 1934 г. было предложено использовать однородную по составу смесь из песка (29%), гравия или щебня (64%) и воды (7%) для строительства зимних фортификационных сооружений - ледяной бетон. Однако, лед как конструкционный материал имеет широкий спектр недостатков, таких как таяние при температурах выше нуля, а также его способность легко деформироваться при приложении нагрузки, хрупкость [7]. Для того, чтобы нивелировать перечисленные недостатки, возникла идея армирования льда различными материалами: стальной сеткой и тросами, волокнистыми материалами на основе древесины. Так появился пайкерит - упрочненный древесными опилками лед - композиционный материал, в состав которого входят древесные опилки количестве 14-45 % и до 86% льда. Наличие в составе композита древесно-волокнистого компонента обеспечивает его повышенные прочностные характеристики, а также придает материалу ковкость. Его легко производить и обрабатывать, он дешев в производстве [8].

Перспективным строительным материалом для суровых климатических условий могут служить ситаллы - искусственные стеклокристаллические материалы на основе неорганического стекла, получаемые путем его управляемой кристаллизации. Ситаллы представляют собой одну или несколько кристаллических фаз, равномерно распределённых в стеклообразной фазе. В строительстве главным образом находят применение петроситаллы - литые материалы из различных горных пород: базальта, диабазы, гранита, песков и мергелей. Конструкционные изделия на основе петроситаллов внедряются в арктическом строительстве в качестве металлозамещающих элементов, футеровочных покрытий, опор и плит, обладающих улучшенными техническими характеристиками [9].

Подводя итог, отметим, что наиболее востребованным для строительства в арктических условиях является модифицированный высокопрочной бетон. Перспективным материалом для Крайнего Севера являются ситаллы и изделия из них. Для строительства сооружений специального назначения в арктических условиях может быть использован ледобетон или пайкерит.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Геворкян С. Г.* Некоторые технические, социальные и геополитические аспекты криогенных природных процессов в циркумполярной криолитозоне. *Пространство и Время*. – 2015. – № 4(22). – С. 213-232.

2. *Матвеева, О. И.* Новые технологии в строительстве, обеспечивающие устойчивость и долговечность зданий и сооружений в Арктической зоне России и Республики Саха (Якутия). *Арктический вектор: стратегия развития : Материалы II-й научно-практической конференции, Саха (Якутия)*", 2019. – С. 52-55.

3. *Шулдяков К. В., Трофимов Б. Я., Крамар Л. Я.* Морозостойкость дорожного бетона. *Фундаментальные и прикладные науки - основа современной инновационной системы: Материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных, Омск, (СИБАДИ)*", 2015. – С. 209-216.

4. *Морозова, М. В.* Эксплуатационные характеристики бетонов модифицированных высокодисперсным сапонит-содержащим материалом. *Вестник Сибирского государственного автомобильно-дорожного университета*. – 2018. – Т. 15. – № 2(60). – С. 269-275.

5. *Гамалий Е. А.* Влияние поликарбоксилатного суперпластификатора на структуру и свойства цементного камня при циклическом замораживании и оттаивании. *Технологии бетонов*. – 2013. – № 6(83). – С. 28-30.

6. *Крамар Л. Я.* Быстротвердеющий, высокопрочный и морозостойкий бетон на основе шлакопортландцемента. *Вестник Южно-Уральского государственного университета. Строительство и архитектура*. – 2021. – Т. 21. – № 1. – С. 48-53.

7. *Корнюшин П. С.* Лед как строительный материал. Развитие современной науки : теоретические и прикладные аспекты : Сборник научных статей студентов, магистрантов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей. Пермь : ИП Сигитов Т.М., 2018. – С. 18-24.

8. *Слободчиков Н. А.* К вопросу об использовании облегченных сооружений из пайкерита для арктических районов России. *Системный анализ и логистика*. – 2016. – № 2(13). – С. 29-34.

9. *Мананков А. В.* Ситаллы из местного сырья для производственных инновационных инфраструктур с высокой технико-экономической эффективностью в экстремальных условиях крайнего Севера. *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. – 2018. – Т. 329. – № 11. – С. 87-96. – DOI 10.18799/24131830/2018/11/212.

ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА И УТИЛИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Основным отходом пирометаллургической промышленности являются шлаки. Они образуются от плавки металла из металлосодержащих руд. Различают жидкие и твёрдые отходы. Шлаки хранят открытым способом что ведет к загрязнению воздуха, оды и земли, что очень сильно влияет на здоровье людей, проживающих рядом с производством. Переработка и вторичное использование шлаков помогает уменьшить стоимость выходного металла, также безотходное производство не так сильно загрязняет всё вокруг себя, остаются относительно здоровыми почва, атмосфера, вода в промышленных городах. Оно позволяет сохранить не возобновляемые природные ресурсы [1,2].

Вторичная переработка и использования шлаков освобождает место, где эти шлаки были бы захоронены. Но несмотря на попытки сделать безотходное производство, на 100% это не осуществить. Главным потребителем отходов являются компании, занимающиеся производством строительных материалов, например шлаки используют чтобы восстанавливать дорожное полотно и т.д. Во время строительства метро обязаны использовать прочные, огнеупорные не корродирующие материалы. Отделка сделана из таких материалов, что способна выдерживать давление подземных вод, камня и сейсмонагрузки. Чтобы обделать тоннели метро, используются чугунные тубинги, которые потом собираются в единое целое [3,4].

Начальную утилизацию отходов производит само предприятие. В специальных ямах есть грузы с помощью которых происходит дробление. После этого с помощью магнитной сепарации выводится металлическая часть, а оставшееся перерабатывают в щебень. Но данная процедура не подходит для жаропрочных, нержавеющей и других схожих шлаков, так как основная их часть немагнитна. Но современные технологии позволяют извлечь около 95% металла, даже немагнитного. Существует комплексная переработка отходов, их несколько этапов: Оценка по составу и количеству, по содержанию металлической и неметаллической составляющей, выборка крупных частей. Последовательное дробилок трёх фракций: две щековых (первая – 150мм, и вторая – до 60 мм), третья дробилка в виде конуса, раздробляет куски до 30мм. После каждого дробления выбирают металлический скрап. Куски размером больше 28 мм запускают в процесс дробления

заново. Результатом является получение шлаков 0-5 мм и 5-10 мм. Затем сырьё сепарируют, именно там отделяется металлическая часть. Путём этой переработки получают оксиды (песок и щебень) и сам металл. Затем на заводах из этих отходов производится тротуарная плитка, блоки для стен, бордюрный камень. Из металлических сплавов создают рафинированную шихтовую заготовку. [5]

Так мы имеем и жидкие отходы, их обогащают по-разному: концентрированием, сорбцией, ионным обменом, экстракцией и тд.

Рассмотрим сорбционный метод. Здесь используют такие сорбенты как: активированный уголь, сульфоцеллюлоза, танин, торф и тд. Главным методом является физическая адсорбция. Процесс сорбции используется недорогие и распространённые химикаты. Метод работает при концентрировании металлов из разбавленного раствора и обратного раствора от примесей.

Один из самых используемых отходов – доменные шлаки. Это материал, возможно имеющий вяжущие свойства. Но только в гранулированном виде у него появляются признаки к способности твердеть. Это проявляется под действием активирующих добавок например: известь, щелочь и т.д. Они используются как добавки в минеральные добавки для производства шлакопортландцемента. Его получают тонким помолом клинкера, гипсовой добавки и доменного гранулированного шлака.[6]

Из шлаков производят термозит также его называют шлаковой пемзой. Это пористый наполнитель, полученный искусственным путём. Шлаки вспучивают и с помощью резкого охлаждения огромным количеством воды с будущей кристаллизацией и отжимом пористой массы. Термозит используют в виде наполнителя для лёгких бетонов и теплоизоляционных материалов. Шлаковая пемза является одним из самых дешёвых пористых наполнителей на рынке строительных материалов.

Минеральная вата производится также из металлургических шлаков. Главным сырьём являются кислые доменные шлаки, они богаты глинозёмом и кремнезёмом. Её высокая пористость и химический состав, гарантирующий высокую термо-, водо- и морозостойкость, что делает её пригодной для производства теплоизоляционных и звукоизоляционных изделий [7].

Для производства щебня используют около половины шлаков, образованных сталеплавильными заводами. Треть от этого объёма используется в качестве флюса в шихте и вагранках. Часть переработанных продуктов используется в сельском хозяйстве.

При переработке утилизации появляется проблема использования кокса. Сейчас ведется разработка технологий бескоксового

производства. Доступнейшим видом энергии для черной металлургии является некоксуемый уголь, а сырьё – бедные железные руды. Альтернативой этому может послужить агрегаты и бескоксующая металлургия.

Благодаря вторичной переработке и утилизации отходов пирометаллургической промышленности снижается себестоимость продукции, уменьшается риск потери не возобновляемых ресурсов. Оно увеличивает эффективность производства. Всё это позволяет уменьшить отвалы рядом с заводами и не загрязнять прилегающие территории.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Букин, В. И.* Переработка производственных отходов и вторичных сырьевых ресурсов, содержащих редкие, благородные и цветные металлы / В. И. Букин, М. С. Игумнов. – М. : Деловая столица, 2002. – 224 с
2. *Едаменко А.С.* Использование техногенного сырья при производстве гипсовых вяжущих // Научный обозреватель. 2013. № 4 С.92-94.
3. *Гальцева Н.А.* Разработка закладочных смесей на основе модифицированного синтетического ангидрита // Сухие строительные смеси. 2018. №5. С.35-38.
4. *Романенко, А. Г.* Металлургические шлаки / А. Г. Романенко. М. : Металлургия, 1997. – 197 с.
5. *Довгопол, А. Г.* Переработка и использование шлаков черной металлургии за рубежом / А. Г. Довгопол, М. И. Панфилов, Е. И. Филиппова. – М. : Черметинформация, 1980. – 21 с.
6. *Поляк, В. В.* Технология строительного и технического стекла и шлакоситаллов: учебник для техникумов / В. В. Поляк, П. Д. Саркисов, В. Ф. Солинов, М. А. Царицын. – М. : Стройиздат, 1983. – 432 с.
7. *Колобов Г.А., Бредижин В.Н, Чернышев В.М.* Сбор и обработка вторичного сырья цветных металлов -М: Металлургия. 1993. – 289с

Студент 1 курса 32 группы ИСА Маторин А.А.

Студент 1 курса 32 группы ИСА Кабиров А.

Научный руководитель проф., доктор техн. наук, Самченко С.В.

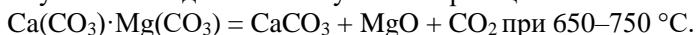
МАГНЕЗИАЛЬНОЕ ВЯЖУЩЕЕ. НОВАЯ ЖИЗНЬ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

История магнезиальных цементов насчитывает уже более тысячи лет. Древние строители от Европы и Латинской Америки до Китая и Новой Зеландии для кирпичной кладки использовали магнезиальный цемент на основе фосфата магния и фекалий животных или ферментированных растительных остатков и магнезии [1, 5].

Магнезиальным вяжущим является магнезиальный цемент, который бывает двух видов: каустический магнезит и каустический доломит. Для каустического магнезита сырьем служит $MgCO_3$ - магнезит, а для каустического доломита - $CaCO_3 \cdot MgCO_3$ - доломит.

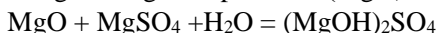
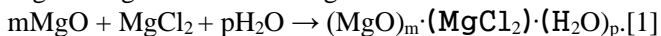
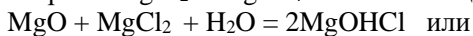
Каустический магнезит получают по реакции: $MgCO_3 = MgO + CO_2$ при 700 - 800 °С.

Каустический доломит получают по реакции:



Каустический магнезит чаще всего используют в качестве вяжущего, У него прочность выше, и схватывается он за меньший срок в сравнении с каустическим доломитом.

Магнезиальные цементы затворяют не водой, так как реакция с водой протекает с высоким выделением тепла, и образуется $Mg(OH)_2$, обладающий низкой прочностью. Затворение проводят водными растворами $MgCl_2$ и $MgSO_4$ высокой концентрации:



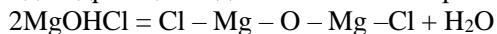
При использовании $MgCl_2$ берутся следующие соотношения компонентов: 62- 67% MgO и 33- 38% $MgCl_2 \cdot 6 H_2O$ (бишофит), а при использовании $MgSO_4$ – 80 -84% $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ ($MgSO_4$ – 16 -20%).

Гидролиз, протекающий при затворении, приводит к образованию основных солей с вяжущими свойствами [4, 5, 6, 7].

При твердении происходит образование $Mg(OH)_2$ сначала в коллоидном, а затем в кристаллическом состоянии; частично образуется оксихлорид магния [1]. Твердение обусловлено процессами дегидратации и в дальнейшем полимеризации. Длинные цепи образуются благодаря связям:

- ковалентным – O – Mg – O – Mg – O –
- мостиковым – Mg – Cl – Mg –

Их сочетание обуславливает высокую прочность магнезиальных цементов за счет дегидратации и дальнейшей полимеризации [3]:



Схватывание каустического магнезита начинается не ранее, чем через 20 мин., а заканчивается через 6 -8часов. Схватывание каустического доломита наступает только через 3 - 10 часов, а заканчивается через 8 – 20 часов. Твердение проходит интенсивно, и через сутки прочность магнезиального цемента достигает 30 – 50%. В возрасте 7 суток прочность– 60 -90% максимально возможной [1,9,10].

Основными достоинствами магнезиальных вяжущих являются: высокие скорость твердения и достигаемая прочность, уникальное сочетание вяжущих свойств и совместимости практически с любыми органическими заполнителями, высокая стойкость к агрессивным средам, огнеупорность, бактерицидность, долговечность. Недостатки магнезиальных вяжущих – низкая водостойкость, высокая коррозионная активность [2,7,8,11].

Традиционно магнезиальные цементы применяют в сочетании с органическими заполнителями. Продукция из магнезиальных цементов, в которой заполнителем служат опилки называют ксилолитовой (с греч. «дерево-камень») [1,5,9].

Стекломагнезитовый лист (СМЛ) является новинкой на современном строительном рынке, официальный материал Олимпийский игр в Пекине 2022 года. СМЛ в своем составе содержит перлит (обеспечивает тепло- и звукоизоляция, огнестойкость), оксид и хлорид магния (прочность), мелкодисперсная стружка из дерева (обеспечивает плотность, а также при изготовлении листов для прочности и для препятствия образованию трещин при воздействии нагрузок применяют стеклотканевую сетку. Они - отличная замена и гипсокартону и ДСП, экологически чистые, не содержат асбест, не выделяют токсических соединений при нагревании. Листы на основе СМЛ имеют две стороны, обладающие различными характеристиками. Лицевая сторона гладкая, обратная сторона шершавая. Благодаря гибкости стекломагнезитовых листов становится возможным их применение для облицовки поверхности с большим радиусом кривизны.

В целом остаётся отметить, что стекломагнезитовые листы представляют собой твёрдый, прочный, гибкий, экологически чистый материал, обладающий к тому же такими ценными качествами, как огнеупорность, нетоксичность и влагостойкость [12]. Очевидно, что данные эксплуатационные показатели способны обеспечить широкое применение данного материала в строительстве и декорировании помещений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Изотех // Магнезиальные вяжущие в строительстве и строительных материалах [Электронный ресурс] - Режим доступа: <http://www.izotekh-spb.ru/statyi/floors/3>
2. *Abdelrazig, B.* The chemical composition of mortars made from magnesia: phosphate cement / В. Abdelrazig // Cement and Concrete Research. – 1998; 18(3). – P.415–425.
3. *Sugimoto, K.* Structure determination of $Mg_3(OH)_5Cl \cdot 4H_2O$ from laboratory powder diffraction data and its impact on the analysis of problematic magnesia floors / К. Sugimoto, R. Dinnebir, T. Schlecht // Structural Science. – V. 63. – Part 6. – 2007, December. – P. 805–811.
4. *Зимич, В. В.* Влияние различных видов затворителей на гигроскопичность магнезиального камня / В.В. Зимич, Л. Я. Крамар, Б. Я. Трофимов // Вестник ЮУрГУ, серия «Строительство и архитектура». – 2008. – Вып. 6. № 12. – С. 13–15.
5. *Сидоров, В.В.* Теоретические основы технологии производства плиточных материалов с использованием каустического магнезита / В.В. Сидоров, Н.И. Малявский, Т.А. Никифорова // Технологии бетонов. – 2008. – № 2. – С. 46–49.
6. *Abdelrazig, B.* The chemical composition of mortars made from magnesia: phosphate cement / В. Abdelrazig // Cement and Concrete Research. – 1998; 18(3). – P.415–425.
7. *Устинова, Ю.В.* Повышение водостойкости магнезиальных вяжущих / Ю.В. Устинова, А.Е. Насонова, В.В. Козлов // Вестник МГСУ, 2010. № 4, т. 3. – С. 123–127.
8. *Крамар, Л.Я.* Композиции на основе магнезиального вяжущего, не склонные при эксплуатации к растрескиванию / Л.Я. Крамар, С.В. Нуждин, Б.Я. Трофимов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Строительство и архитектура». – 2007. – Вып. 4. № 14. – С. 15–17.
9. *Крамар, Л.Я.* Магнезиальные вяжущие из природного сырья / Л.Я. Крамар, Т.Н.Черных, А.А.Орлов, Б.Я. Трофимов // Челябинск: ООО «Искра-Профи». – 2012. – 146 с.
10. ГОСТ 1216 - 87. Порошки магнезиальные каустические. Технические условия: Введ. 198-07-01.-Москва:Шосстандарт России: Изд-во стандартов.2004.-157 с.
11. *Крамар, Л.Я.* Особенности твердения магнезиального вяжущего сырья / Л.Я. Крамар, Т.Н.Черных, А.А.Орлов, Б.Я. Трофимов // Цемент и его применение.- 2006.-№ 5-6.-С.21-24
12. *Орлов А.А.* Стекломагнезиальные листы: проблемы производства, применения и перспективы развития/ А.А.Орлов, Т.Н.Черных, Л.Я. Крамар// Строительные материалы. – 2014. - №3. – С.47–51.

ТОПЛИВО ДЛЯ ОБЖИГА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Обжиг — это нагрев и выдержка при высокой температуре различных материалов с целью придания им необходимых свойств. В изготовлении строительных материалов обжиг является важной технологической операцией. Обжиг применяют для получения керамических материалов (кирпича, керамзита), минеральных вяжущих веществ (цемента, извести, гипса), в производстве стекла [1].



Рис.1. Вращающаяся цементная печь

В промышленности используют твердое, жидкое и газообразное топливо для обжига строительных материалов.

Твердое топливо наиболее распространено. В качестве твердого топлива применяют каменные и бурые угли, коксовый уголь, горючие сланцы.

Однако, его применение сопровождается довольно значительными техническими трудностями. Ему нужно выделение специального углеподготовительного отделения. В нем происходит помол угля в мельницах совместно с сушкой.

Основной недочет углей — это наличие огромного количества серы (до 4%). В углях разных видов находится до 3040 % горючих летучих веществ и до 30 % золы и шлаков.

Принимая во внимание возможность образования взрывоопасных концентраций пыли в углеподготовительном отделении подразумевается система подачи инертного газа. Содержание горючих летучих веществ 6-8%.

Удельный расход угля на обжиг 1 тонну клинкера - 300 кг.

В качестве жидкого топлива чаще всего используют мазут, образующийся при нефтепереработке. Применение мазута имеет много преимуществ, по сравнению с твердым топливом.

Мазут обладает повышенной теплотой сгорания и не содержит серы.

Быстрота сгорания мазута и сила излучения горящего факела увеличивают расход теплоты на обжиг до 10%. Подготовка мазута состоит в обеспечении и поддержании низкой вязкости для облегчения распыления топливными форсунками, особенно в зимний период.

Расход условного топлива при производстве цемента составляет 205-220 кг на одну тонну клинкера.

В качестве газообразного топлива применяют природный газ, смеси природного газа другими горючими газами, а также коксовый газ.

Газ является самым не дорогим и удобным видом топлива. У газа яркость пламени меньше, чем у других видов топлива, это требует увеличения удельного расхода топлива. Он не требует емкостей для хранения, может подаваться на предприятие по газопроводам. Сжигание газа не приводит к образованию золы и сопровождается меньшими выбросами в атмосферу.

Применение газа облегчает автоматизацию процесса обжига и процессов производства строительных материалов.

Благодаря многим преимуществам, по сравнению с другими видами топлива, газ стал наиболее распространенным видом топлива в промышленности цементных материалов.

Удельный расход газа на обжиг 1 тонны клинкера – 200 м³ газа.

С точки зрения экологии при производстве строительных материалов основными проблемами всех заводов являются выбросы токсичных газов и твердых веществ (пыль).

При этих технологических операциях отработанное топливо и дымовые газы проходят через пылевидный материал, который подхватывается и уносится из технологической установки.

Газообразные выбросы от печей и тепловых установок являются главными источниками загрязнения окружающей среды на производстве.

Основной токсичный газ, который выбрасывается в атмосферу это SO₂. В результате оказывается негативное влияние на растения, животных и человека.

Так же в настоящее время во всем мире уделяется большое внимание снижению выбросов углекислого газа CO₂ [2]. Цементная промышленность выбрасывает в атмосферу около 5% всех мировых выбросов CO₂ [3]. В связи с этим идет поиск альтернативных видов топлива, которые снижают вредные выбросы в атмосферу или помогают утилизировать отходы.

Снижение расхода энергии и повышение энергосбережения очень важно в цементной промышленности, так как себестоимость цемента на 60% состоит из расходов на топливо.

В настоящее время во всем мире наметились различные пути по применению нестандартных источников энергии.

Применение отработанных автопокрышек по собственной теплотворной способности соответствует примерно 0,85 т мазута. Подача автопокрышек небольшого размера ведется через особый люк в печи в температурной зоне 1000-1100 °С, крупногабаритные (заранее разрезанные) подаются в печь через «холодный» ее конец. Посредством сжигания автопокрышек можно обеспечить 10-25% экономии топлива.

Еще одним техническим решением, получившим промышленное внедрение, является получение и сжигание синтетического топлива. Его получают путем пропитки тонкомолотого минерального порошка отработанными моторными маслами и другими жидкими углеводородами. Синтетическое топливо может экономить до 25% расходов энергии на обжиг.

Группы исследований и разработок Synhelion и CEMEX создали экспериментальную производственную установку для производства клинкера из концентрированной солнечной энергии, соединив процесс производства клинкера с солнечным приемником. Пилотный образец был установлен на солнечной башне очень высокой концентрации компании. Солнечный ресивер обеспечивает рекордные температуры, превышающие 1500 °С [4]. Солнечный ресивер нагревает газообразный теплоноситель и, таким образом, обеспечивает необходимое технологическое тепло для производства клинкера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Samchenko S.V., Zorin D.A.* Use sulfoferritic cements in construction. E3S Web of Conferences. 2018. С. 02070.

2. *Лашина В.В., Петрова А.И., Петров И.В.* Загрязнение атмосферы при производстве цемента и опыт по снижению выбросов углекислого газа на предприятиях цементной промышленности Германии и России. Научный вестник Московского государственного горного университета. 2011. № 12. С. 26-33.

3. *Самченко С.В., Суворова А.А.* Влияние CO₂ на гидратацию алюмоферритов кальция. Техника и технология силикатов. 2005. Т. 12. № 3-4. С. 31.

4. <https://www.cemex.com/>

Студентка 3 курса 63 группы ИСА Петрухина Е.Р.

Студентка 3 курса 61 группы ИСА Григорьева В.П.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. М.Б. Каддо

ГИДРОИЗОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ БЕНТОНИТОВЫХ ГЛИН

В конце 19 века люди нашли широкое применение в промышленности глинам, похожим по своему минеральному составу на фуллеровые земли. Они использовались при изготовлении литейных форм. Коллоидный литейный глиняный клей склеивал песчаные частицы в местах контактов, оставляя каналы для выхода газов. При этом форма обладала высокой прочностью и огнеупорностью.

Глина — пластичный и податливый материал при взаимодействии с водой. Зато при высушивании она обладает высокой водонепроницаемостью и становится готовым материалом для гидроизоляции. Гидроизоляционные свойства глин основаны на их способности набухать при контакте с водой. Такая технология получила название – глиняный замок.

Глиняный замок – распространенный способ гидроизоляции заглубленных сооружений. Он представляет собой слой уплотненной глины, которая укладывается по контуру фундамента или подземной части стены.

Глиняный замок, несмотря на свою простоту до сих пор является одним из лучших гидроизоляционных материалов, однако, в основе новых материалов лежит бентонитовая глина.

Бентонит – особый тип глин, который обладает высокими адсорбционными и коллоидными свойствами. Преобладающий минерал бентонитовых глин состоит в основном из минерала монтмориллонита. Монтмориллонит имеет относительно большие межpacketные расстояния и характеризуется симметричным сложением packetов.

Возможности использования бентонитовой глины невероятно широки: строительство, в том числе автомагистралей и подземных сооружений, с/х сфера, металлургия; производство керамики, медицина и косметология, искусственные водоемы и промышленные бассейны, изготовление лаковой продукции, производство вин.

Наиболее крупные месторождения бентонита расположены в России, Испании, Украине, Италии, Греции, США и Канаде. На территории Российской Федерации известны Курганское, Кудринское и Омское месторождения. Бентонит добывается открытым способом в карьерах.

Основной положительной стороной бентонита является возможность восстановления повреждений набухающими глиняными частицами. К положительным свойствам бентонитовых глин можно отнести способность выдерживать попеременные замораживания и оттаивания без изменения гидроизолирующих свойств на протяжении всего периода использования. Бентонитовые маты легко устанавливаются на изолируемые поверхности, имеют достаточно высокую долговечность, приемлемую стоимость и могут быть отнесены к экологичным материалам. Недостатков у материала, по сравнению с другими типами мало.

В современном строительстве для гидроизоляции фундаментов и подземных частей здания применяют материалы на основе гранулированных бентонитовых глин. Бентонитовые маты представляют собой рулонные гидроизоляционные материалы. Бентонитовые гранулы мата активно впитывают воду, связывают ее и препятствуют фильтрации влаги через слой материала. Бентонитовые маты имеют высокую эластичность и прочность на разрыв на протяжении всего периода эксплуатации, что делает материал устойчивым к разного рода повреждениям.

Бентонитовые гранулы при попадании воды в материал значительно увеличивают свой объем. Таким образом формируется бентонитовый гель, который при нарушении целостности водонепроницаемого слоя способен заполнять собой появившиеся пустоты, то есть «самозалечиваться» и выполнять свою основную гидроизолирующую функцию. Этой особенностью не обладают другие гидроизоляционные материалы.

Благодаря пригрузочному слою, состоящему из щебня или грунта, и прочному иглопробивному креплению самого бентонитового мата материал не изменяет своей толщины даже при больших объемах поступающей воды.

По сути дела, бентонитовый мат представляет собой современную модификацию традиционного «глиняного замка». Но современный материал в несколько раз проще и быстрее монтировать, он не размывается и не растрескивается, то сохраняет свои свойства длительное время.

Бентонитовые маты с равным успехом могут использоваться для гидроизоляции вертикальных и горизонтальных конструкций, стенок котлованов и технологических выемок в частном и промышленном строительстве.

Мы проанализировали показатели бентонитовых матов различных производителей. Результаты анализа представлены в таблице. Как можно заметить, все экземпляры обладают высокой условной прочностью, а значения коэффициента фильтрации говорят нам о том, что все они являются хорошими водупорами.

Таблица 1

Основные характеристики бентонитовых матов

Тип матов	Ширина рулонов, м	Толщина, мм	Содер. бент., кг/м ²	Разрыв. сила, Н	Коэф. фильтр, м/сут
GeoSM	1,1; 1,5; 3;5	5 - 10	4,8	300 - 330	$170 \cdot 10^{-8}$
ВОДОУПОР АКВАИЗОЛ	1,5; 3; 5	6 - 8	4,6 - 4,9	350	10^{-8}
ISOBENT	1,15; 5	4,8 - 6,2	2,5 - 4,5	300	$0,15-0,5 \cdot 10^{-8}$
BENTOMAT	5	5,3 - 6,5	3,0 - 5,0	400	$0,0015 \cdot 10^{-8}$
VOLTEX	1,15; 5	6,2	4,5	350	$0,2 \cdot 10^{-8}$

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Астафьева Н.С., Попов Д.В., Фомина Ю.А., Якупова Г.И.* Защита подземных частей зданий и сооружений от воздействия подземных вод // Региональное развитие. - 2014. - № 3,4. - С. 200-212.
2. *Касьянов В.Ф., Сокова С.Д., Калинин В.М.* Мероприятия, повышающие эксплуатационную стойкость подземной гидроизоляции зданий // Естественные и технические науки. - 2015. - № 10 (88). - С. 394-398.

*Студент магистратуры 2 года обучения 31 группы ИСА Ромса А.М.
Студент магистратуры 2 года обучения 31 группы ИСА Шаламов В.В.
Научный руководитель – проф., д-р. хим. наук, проф. А.В. Кориунов*

ВЛИЯНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Бетон на основе портландцемента является наиболее широко используемым искусственным материалом на планете [1]. Цементная промышленность в настоящее время отвечает за ~8% глобальных антропогенных выбросов CO₂. Ожидается, что мировое производство цемента, составляющее более 4 миллиардов тонн в год, продолжит увеличиваться вследствие возросшего спроса на жилищные и инфраструктурные объекты. Что касается клинкера, то на прокаливание известняка, основного сырья для производства цемента, приходится примерно 60% выбросов CO₂, а затраты на тепловую и электрическую энергию составляют ~40%. Были предприняты активные усилия по сокращению выбросов CO₂ за счет использования альтернативных видов топлива, более энергоэффективных печей, а также за счет улучшения минералогического состава клинкера, что позволяет снизить содержание клинкера в конечном продукте. В то время, как сокращение выбросов CO₂ в процессе производства требует значительных затрат и может сильно повлиять на экономику цементных заводов, сокращение доли клинкера в цементе является наиболее оптимальным вариантом. Одним из способов снижения доли клинкера в цементе является использование различных минеральных добавок, которые позволяют улучшить характеристики цементного камня [2-7].

Минеральные добавки представляют собой тонкодисперсные порошки, получаемые путем дробления и помола минеральных пород природного или техногенного сырья. Минеральные добавки природного происхождения нерастворимы в воде, и при добавлении их в цементное тесто или бетонную смесь происходит уплотнение материала и, в некоторых случаях, возможно уменьшение расхода цемента в бетоне без снижения прочности изделия. При этом возникает повышенная водопотребность. Синтетические минеральные добавки, такие как этрингит, силикат и фосфат кальция, наоборот, имеют свойство растворяться в воде, что позволяет вступать в реакцию с минералами клинкера в цементном камне и влиять на свойства и структурообразование. При оптимальных условиях данные добавки синтезируются методом осаждения из раствора (рис. 1).

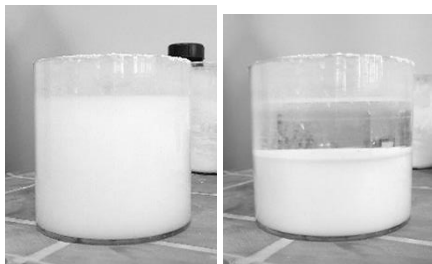
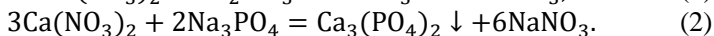


Рис. 1. Получение силиката кальция по реакции (1) и фосфата кальция по реакции (2) методом осаждения из растворов



Для постоянного В/Ц = 0,3 при сравнении добавок этtringита (Э), силиката (С), фосфата (Ф) и хлорида кальция с контрольным образцом (К) можно заметить, что в образцах с добавками хлорида кальция и силиката кальция происходит усиленный набор температуры. В образце с этtringитом происходит небольшое снижение набора температуры, по сравнению с контрольным образцом, а для фосфата ярко выражен замедленный прирост температуры (рис. 2).

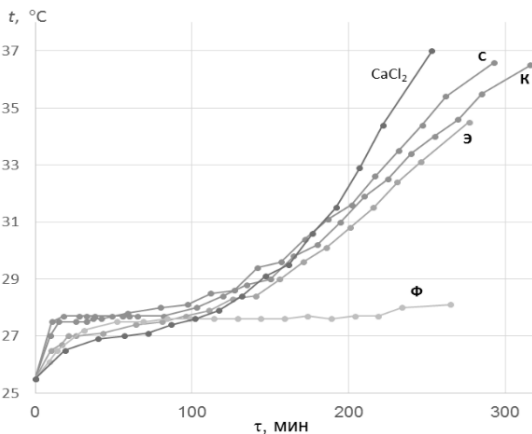


Рис.2. Графики изменения температуры цементной смеси в калориметре (обозначения в тексте)

Скорость схватывания образцов прямо пропорциональна скорости набора температуры, следовательно, для хлорида и силиката кальция характерна повышенная скорость схватывания, что предполагает их использование в качестве ускорителей схватывания цементного камня. Для этtringита и фосфата, наоборот, снижена скорость схватывания, что позволяет использовать эти добавки в качестве замедлителя скорости схватывания в цементах или бетонах (рис. 3).

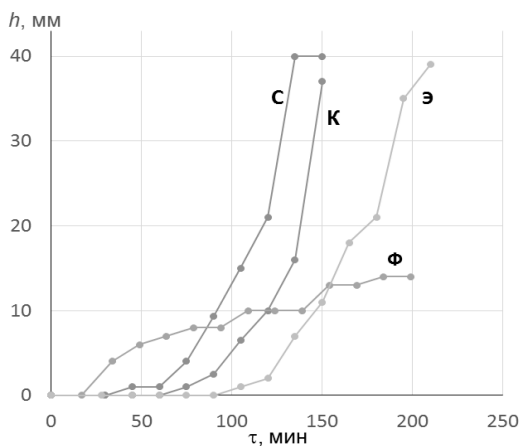


Рис. 3. Динамика схватывания цементных смесей нормальной густоты с добавками (обозначения в тексте)

Этtringит под микроскопом представляет собой частицы стержневидной формы, которые не склонны агрегироваться. Благодаря этому свойству, при добавлении его в цементную смесь, происходит заполнение пористой структуры цемента частичками этtringита и его уплотнение при росте новообразований. Для силиката кальция характерны частицы неопределенной формы,

способные соединяться в агрегаты. Структура цементного камня с добавкой силиката кальция является более пористой, чем с этtringитом, но рост новообразований замедлен. Для контрольного образца без использования добавок характерна пористая неоднородная структура.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Eamon G.* Getting the Numbers Right, the Cement Sustainability Initiative. – WBCSD, 2016.
2. *Гньря А.И.* Влияние времени и повышения температуры на структурообразование цементного камня // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2017. №8. С. 34-45
3. *Nicoleau L., Nonat A., Perrey D.* The di- and tricalcium silicate dissolutions // Cem. Concr. Res. – 2013. V. 47. P. 14–30.
4. *Houston J.R., Maxwell R.S., Carroll S.A.* Transformation of metastable calcium silicate hydrates to tobermorite: reaction kinetics and molecular structure from XRD and NMR spectroscopy // Geochem. Trans. – 2009. V. 10.
5. *Lothenbach B., Nonat A.,* Calcium silicate hydrates: solid and liquid phase composition, Cem. Concr. Res. – 2015. V. 78. P. 57–70.
6. *Mota Gassó B.,* Impact of alkali salts on the kinetics and microstructural of cementitious systems. Thesis. – 2015.
7. *de Weerd K., Haha M.B., Saout G. Le, et al.* Hydration mechanisms of ternary Portland cements containing limestone powder and fly ash // Cem. Concr. Res. – 2011. V. 41 P. 279–291.

ЭФФЕКТИВНЫЕ БЕТОНЫ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

С открытием в середине 1950-х годов первых АЭС в Обнинске, Колдер-Холле и Бивере перед инженерами-строителями встала задача возведения зданий и сооружений, отвечающих новым, прежде не выдвигавшимся требованиям – требованиям защиты людей, оборудования и окружающей среды от воздействия ионизирующего излучения. Такое излучение представляет собой поток α - и β -частиц, γ -лучей и нейтронов. Наибольшую проникающую способность имеют:

- γ -излучение – поток фотонов. Эффективность ослабления повышается с плотностью материала преграды;
- потоки нейтронов – незаряженных частиц, которые не взаимодействуют на расстоянии с заряженными ядрами атомов и теряют энергию только при соударении с частицами, примерно равными себе по массе.

Обычно, все объекты атомной отрасли оснащаются защитой от ионизирующего излучения в виде экранов, задерживающих гамма-кванты и нейтроны и снижающих уровень радиации за пределами ограждаемой площади до безопасных значений.

В ходе эксплуатации АЭС радиационная защита подвергается негативному воздействию ионизирующих излучений. Из-за этого в материалах этих конструкций происходят следующие процессы:

- образование вторичных ионизирующих излучений;
- радиационный разогрев;
- термические деформации и ухудшение несущих свойств конструкций;
- появление термических напряжений в конструкциях.

В связи с этим материалы экранов радиационной защиты, прежде всего, должны обладать:

- требуемой плотностью и особенностями химического состава для обеспечения необходимых защитных свойств и коэффициента теплопроводности;
- требуемым классом материала по прочности для обеспечения достаточной несущей способности под действием напряжений от различных механических нагрузок, а также от термических и радиационных деформаций;
- допустимыми деформациями и изменениями прочности под действием радиации и нагревания;

Исходя из всего вышеперечисленного, оптимальным материалом для создания радиационной защиты являются тяжелые бетоны на поргланцементе. Гидраты в цементном камне препятствуют прохождению через экран нейтронов, а тяжелые наполнители ослабляют γ -излучение. Кроме того, тяжелые бетоны обладают высокими показателями прочности и ремонтпригодности.

Как было упомянуто выше, показатели эффективности радиационной защиты зависят от плотности материала и его химического строения. Рассмотрим некоторые эффективные бетоны.

Серпентинитовый бетон. В качестве заполнителя используется метаморфическая горная порода серпентинит, имеющая в своей основе минерал серпентин $[\text{Mg}_3(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8]$. Использование серпентинита обусловлено большим содержанием химически связанной воды (10-15% по массе), которое при нагреве породы значительно снижается лишь при температуре более 450 °С.

Железосодержащий бетон. Для получения бетонов большой плотности в качестве заполнителей используются различные железные руды. В строительстве АЭС как правило используются магнетитовая (сложена минералом магнетитом Fe_3O_4 с примесями оксидов магния, хрома, алюминия) и гематитовая (сложена минералом гематитом Fe_2O_3 с примесями оксидов магния, кремния, алюминия) руды. Дроблением и рассевом руды получают песок и щебень, которые используют для приготовления бетонов. Наибольшее распространение имеют тяжелые бетоны на комбинированных заполнителях: обычный минеральный песок и гематитовый или магнетитовый щебень.

Бетон с добавкой бора В¹⁰. Добавление в состав бетона даже небольшого количества бора приводит к снижению, потоков нейтронов, уровней захватного излучения и радиационного энерговыделения. Однако возможность добавления бора в состав бетонной смеси сильно ограничен, так как бор негативно влияет на процессы твердения бетонной смеси и снижает прочность бетонов и растворов. Поэтому борсодержащую природную породу (атарит, борацит и др.) или искусственное борсодержащее соединение (карбид бора, борат кальция), нужно вводить в бетон в качестве заполнителя, или добавлять в состав глинистого сырья, обжигаемого на шамот.

Таблица 1

Бетоны, используемых для радиационной защиты:

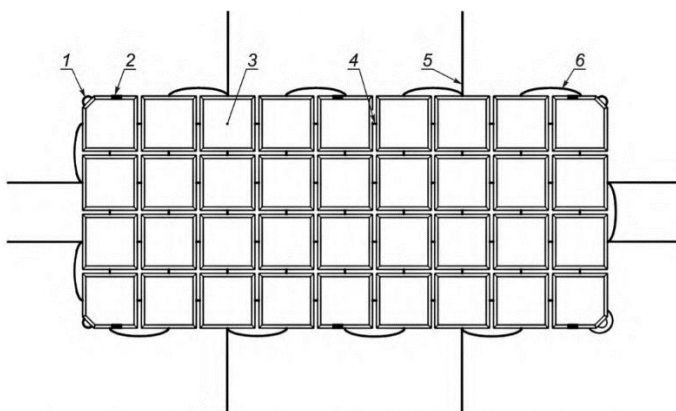
Тип бетона		Плотность, кг/м ³	Прочность при сжатии, МПа	Классы по прочност и на сжатие	Крупный заполнитель
Серпентинитовый		2200 - 2350	9-21	B10; B12,5; B15	серпентинитовый щебень
Железосодержащий		3200 - 4100	25-40	B20; B22,5; B25; B27,5; B30	гематитовый или магнетитовый щебень
С добавкой бора	1-й состав	2350	18-20	B12,5; B15	серпентинитовый щебень
	2-й состав	2350	45-50	B35	шамотный щебень
	3-й состав	2690	20-23	B15	хромитовый щебень

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Рояк С.М., Рояк Г.С.* Специальные цементы (2-е издание, переработанное и дополненное): учебное пособие для вузов. М.: Стройиздат, 1983. – 279 с.
2. *Дубровский В.Б.* Строительство атомных электростанций (2-е издание, переработанное и дополненное): учебник для вузов /В.Б.Дубровский, А.П.Кириллов и др. – Энергоатомиздат. 1987. – 248 с.
3. *Денисов А.В.* Выбор и проектирование состава бетона для радиационной защиты ядерных реакторов: учебно-методическое пособие / Денисов А.В. – ФГБОУ ВО «НИУ МГСУ», 2020. – 76 с.

ГИБКИЕ БЕТОННЫЕ ПЛИТЫ ДЛЯ ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ГРУНТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Многие грунтовые сооружения, к числу которых относятся выемки и насыпи автомобильных и железных дорог, каналы, дамбы, в процессе эксплуатации подвергаются интенсивным атмосферным и механическим воздействиям. Постоянное действие негативных факторов приводит к их разрушению. Традиционные способы защиты грунтовых сооружений (габионы и монолитные и сборные железобетонные покрытия) могут быть не эффективны в условиях постоянного действия агрессивной среды.



1 — соединительная петля; 2 — закладная деталь; 3 — бетонный блок; 4 — арматурный синтетический канат; 5 — монтажный канат; 6 — строповочная петля

Современное перспективное решение проблемы защиты грунтовых сооружений – гибкое бетонное покрытие (ГБ-покрытие), которое работает по принципу гибкого экрана [1]. Оно хорошо деформируется и повторяет характер защищаемой поверхности без дополнительных изгибающих моментов и плотно прилегает к грунту. Покрытие укладывается на слой геотекстиля, что исключает вымывание мелких частиц, и отличается надежным скреплением элементов между собой и всего покрытия с основанием. Оно представляет собой единое полотно, которое собирается на объекте строительства из отдельных гибких бетонных плит (ГБП), изготовленных в заводских условиях в соответствии со стандартом РФ [2]. Плиты поставляются на площадку

готовые к укладке, что позволяет снизить трудозатраты на устройство покрытия.

Блоки, которые составляют ГБП, имеют форму двух усеченных пирамид. Такая конфигурация исключает повреждение ребер блоков при изгибе в процессе доставки, монтажа и эксплуатации.

Соответствие ГБП их назначению и безопасному использованию в первую очередь обеспечивается видом и разрывной нагрузкой армирующего каната, а также прочностью, морозостойкостью и водонепроницаемостью бетона.

Для производства плит используются крученые канаты из полимерных материалов: полистиловые и полиэфирные, имеющие высокую прочность и стойкость к УФ-излучению и гниению.

Плиты выпускают из тяжелого бетона с требованиями: класс бетона по прочности на сжатие – не ниже В30, марка бетона по морозостойкости – не менее F₂₃₀₀, марка по водонепроницаемости – не менее W8.

Требуемые свойства бетона и в первую очередь высокая морозостойкость обеспечивается за счет: рационального выбора исходных материалов; ограничения В/Ц; введения комплексной водоредуцирующей и воздухововлекающей добавки; назначения мягкого режима пропаривания.

В качестве вяжущего применяют портландцементы типа ЦЕМ I с содержанием клинкера не менее 95% и ЦЕМ II/A-III с доменным шлаком в количестве не более 20% (ГОСТ 31108-2020). Также допускается использование сульфатостойкого цемента ЦЕМ II/A-ШСС (ГОСТ 22266-2013). Содержание в клинкере C₃A не должно превышать 7%, C₃S – 60%.

В качестве заполнителей используются природный средний или крупный песок, щебень фракции 5 – 20 мм. Доля пылевидных и глинистых частиц должна быть меньше 2% по массе для песка и 1% для крупного заполнителя. Марка по морозостойкости щебня – не ниже F300 (не ниже морозостойкости бетона). Водопоглощение щебня из метаморфических и изверженных пород составляет не более 0,8%, а из осадочных пород – не более 2,0%. Марка по дробимости щебня из изверженных пород должна быть не менее 1000, а из осадочных и метаморфических пород – не менее 800.

Ограничение В/Ц (не более 0,45) с сохранением требуемой подвижности бетонной смеси за счет введения водоредуцирующих добавок приводит к уменьшению количества капиллярных пор в бетоне. Введение воздухововлекающих добавок обеспечивает создание системы условно-замкнутых пор в бетоне. При этом воздуходержание уплотненной бетонной смеси увеличивается до 4-6%. Добавки вводятся в виде водных растворов вместе с водой затворения. Введение полифункциональных добавок комплексно влияет на важнейшие

свойства бетона: стабильное повышение морозостойкости, увеличение подвижности с П1 до П5 без снижения прочности, снижение воды затворения на 20% и более, снижение расхода цемента до 20% и возможность получения бетонов повышенных марок по водонепроницаемости. Для эффективного действия добавок используется мягкий режим пропаривания.

Закрепление бетонного покрытия на откосе осуществляется путем его крепления к верхнему якорю, который обустраивается на склоне выше максимального уровня поднятия воды в паводок. Фиксация производится за стальные закладные детали плит.

Скрепление плит между собой осуществляется минимум двумя из трех следующих способов:

С помощью дополнительных монтажных канатов (ДМК). Концы ДМК соседних плит продеваются в алюминиевую обжимную втулку. Втулка располагается максимально близко к выходу ДМК из бетонного блока. Втулка зажимается ручным прессом усилием 10 тонн.

С использованием закладных деталей. Отрезок арматуры диаметром 10-12 мм и длиной 200 мм приваривается к металлическим закладным деталям соседних плит (всего в плите 6 закладных деталей). После окончания сварочных работ все сварные соединения для защиты от коррозии необходимо обработать лакокрасочным составом. в) **За угловые соединительные петли.** Отрезок синтетического каната продевается в угловые петли соседних плит. Оба его конца продеваются во втулку. Втулка зажимается с использованием ручного гидравлического пресса.

При выполнении перечисленных требований расчетный срок службы плит оценивается в 100 лет. Таким образом, покрытие из ГБП на сегодняшний день является перспективным решением для защиты грунтовых дорожно-транспортных и гидротехнических сооружений, которое полностью удовлетворяет таким условиям, как экономическая выгода, надежность, а главное – безопасность.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Кривцов А.* Гибкое бетонное покрытие ПБЗГУ как современная и надежная защита инженерных сооружений // журнал «Инженерная защита», выпуск №5 (ноябрь-декабрь 2019). DOI: <https://territoryengineering.ru/bez-rubriki/gibkoe-betonnoe-pokrytie-pbzgu-kak-sovremennaya-i-nadezhnaya-zashhita-inzhenernyh-sooruzhenij/>
2. ГОСТ Р 58411-2019. Плиты бетонные гибкие. Технические условия [Текст]. введ. 2020–01–01

Студентка магистратуры 1 курса обучения 31 группы ИСА Чугунова А.И.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. Иноземцев А.С.

ПРИМЕНЕНИЕ ДОМЕННОГО ШЛАКА В ТЕХНОЛОГИИ БЕТОНОВ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ¹

На протяжении долгого времени бетон является наиболее массовым материалом в строительстве. Исследования в области бетоноведения и технологии бетона изменили первоначальные представления о данном материале, расширив понятия о микроуровне процессов, позволяющих улучшить его прочность, деформативность, долговечность и другие физико-механические свойства. Необходимость улучшения качества бетона вызвана огромным количеством строительных сооружений, применяемых в различных условиях их эксплуатации [1]. Несмотря на успехи, достигнутые в области бетоноведения, дальнейшее исследования, направленные на расширение ассортимента и улучшение качества эффективных материалов, по-прежнему актуальны.

Использование химических и минеральных добавок для улучшения эксплуатационных свойств вяжущих является перспективным направлением повышения их качества [2]. Минеральные добавки представляют собой тонкоизмельченные материалы, которые добавляют в бетон в относительно больших количествах. Они влияют не только на процессы гидратации, происходящие в цементной матрице, и формирование структуры бетона, но и позволяют управлять реологией бетонных смесей за счет адсорбции пластифицирующих добавок [3, 4].

Большинство тонкомолотых минеральных добавок (ТМД) обладают способностью к самостоятельному твердению и к взаимодействию с портландитом с образованием низкоосновных гидросиликатов кальция CSH фазы, повышающих содержание и стабильность цементного геля [5]. Исследования показали, что рациональное применение ТМД позволяет регулировать температурные и объемные изменения твердеющей композиции, а также влияет на соотношение между капиллярными и гелевыми порами, изменяя при этом структуру цементного камня.

Доменный гранулированный шлак (ДГШ) является наиболее изученной и широко используемой минеральной добавкой в

¹ Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз», проект # FSWG-2020-0007).

производстве цементов и бетонов [5]. Его получают из отходов, образующихся на предприятиях по выплавке чугуна. Доменный гранулированный шлак представляет собой стеклообразный материал, полученный в результате быстрого охлаждения шлакового расплава, получаемого при плавке железной руды. Размер гранул варьируется от нескольких до 15 мм [6].

Доменный гранулированный шлак улучшает структуру бетона, оказывая положительное влияние на его эксплуатационные свойства. В то же время главной проблемой применения доменных гранулированных шлаков является их высокая реакционная способность. Он имеет в своем составе активную стекловидную структуру, что химически проявляется в его способности к самостоятельному твердению. Доменный гранулированный шлак содержит в своем составе кремний, который образует в структуре шлака более или менее полимеризованные тетраэды $[\text{SiO}_4]^{4-}$. Возможны также двойные тетраэды $[\text{Si}_2\text{O}_7]^{6-}$, цепи $[\text{SiO}_3]^{2-}$. Пустоты, образующиеся между этими элементами, занимают катионы Ca^{2+} , Na^+ , K^+ , Al^{3+} . Отсюда следует, что чем больше катионов занимает пространство между образующимися элементами, тем больше изолированы друг от друга тетраэды $[\text{SiO}_4]^{4-}$ и тем больше реакционная способность шлака. [5, 7].

Исследования [5] показали, что на реакционную способность шлака положительное влияние может оказывать тепло-влажностная обработка бетона. При пропаривании бетонов, в которых портландцемент на 20-50% по массе замещен доменным гранулированным шлаком, удается повысить морозостойкость готовых бетонов, сохраняя при этом показатели прочности.

На гидравлическую активность доменных гранулированных шлаков влияет их удельная поверхность. При достижении значений удельной поверхности доменного гранулированного шлака близких к $600 \text{ м}^2/\text{кг}$ его реакционная способность практически не зависит от химического состава. Следовательно, для любых шлаков, удельная поверхность которых достигает данного значения, гидравлическая активность высока.

Использование доменных гранулированных шлаков в технологии бетонов позволяет улучшить качество бетона, повышая его прочность, плотность, стойкость к применению в агрессивных средах. Замена части цемента в составе бетона позволяет снизить стоимость готового изделия, позволяя экономить природные сырьевые компоненты, а также снизить выбросы отходов металлургической промышленности в окружающую среду. Изучив возможность управления и способы регулирования реакционными свойствами доменных гранулированных шлаков можно получить высокоэффективный строительный материал.

Таким образом, доменный шлак по химическому и гранулометрическому составу являются минеральной добавкой, которую в соответствии с [8] можно отнести к реологически-активной к суперпластификатору. Это позволяет предположить эффективность применения такого компонента в бетонных смесях «нового поколения» со сниженным расходом вяжущего вещества при высоких значениях прочности на сжатие. Необходимо выполнить исследования доменных шлаков в цементных составах с высоконаполненной минеральной составляющей и установить роль в формировании структуры бетона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Баженов Ю.М., Демьянова В.С., Калашиников В.И.* Модифицированные высококачественные бетоны. М.: Изд. Ассоциации строительных вузов, 2006. 368 с.
2. *Пустовгар А.П., Бурьянов А.Ф., Василик П.Г.* Особенности применения гиперпластификаторов в сухих строительных смесях // Строительные материалы. – 2010. – № 12. – С.62-65.
3. *Ткач Е.В., Темirkanов Р.И., Ружило О.В.* Изучение гидрофизических свойств тяжелого бетона, модифицированного органоминеральной добавкой и микроармирующими волокнами // Строительство и реконструкция. – 2021. – № 2 (94). – С.105-115.
4. *Иноземцев А.С., Королев Е.В., Зыонг Т.К.* Реологические особенности цементно-минеральных систем, пластифицированных поликарбоксилатным пластификатором // Региональная архитектура и строительство. – 2019. – № 3 (40). – С. 24-34.
5. *Кононова О.В., Анисимов С.Н., Смирнов А.О., Лешканов А.Ю.* Эффективность применения доменного гранулированного шлака в бетонах с добавкой на основе поликарбоксилатного эфира // Современные наукоемкие технологии. – 2016. – № 6-2. – С.259-263.
6. *Кравцов А.В., Цыбакин С.В., Виноградова Е.А., Бородин Л.М.* Бетоны с органоминеральной добавкой на основе тонкомолотого шлака медеплавильного производства // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С.86-97.
7. *Трофимов Б.Я., Крамар Л.Я., Шулдяков К.В.* Влияние количества шлака в цементе на морозостойкость тяжелого бетона // Строительные материалы: научно-технический и производственный журнал / ООО РИФ «Стройматериалы». – 2013. – № 9. – С.96-100.
8. *Калашиников В.И.* Через рациональную реологию - в будущее бетонов. 1. Тонкодисперсные реологические матрицы и порошковые бетоны нового поколения // Технологии бетонов. 2007. – № 5. – С. 8-10.

Студентка 2 курса 33 группы ИСА Якупова Ю.М.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук., доц. М.Б. Каддо

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА БЕТОННЫХ ПОЛОВ

В современном строительстве бетон – основной конструкционный строительный материал, поэтому повышение его качества – это одна из насущных проблем строительной сферы. Сейчас известно большое количество мер для повышения качества бетона. Начиная с процесса его создания, выбора исходных материалов и различных добавок на этапе подготовки, заканчивая уходом в процессе использования. Срок эксплуатации напрямую зависит от состава бетона, и ухода за ним во время твердения [1,2,3].

Очень важно соблюдать правильный температурно-влажный режим во время твердения бетона, поскольку из-за некачественного ухода может увеличиться количество испаренной влаги из бетона [2]. В связи с этим происходит усадка бетона. Она делится на две стадии, первичную и вторичную. Первичная длится в течение нескольких часов с момента заливки бетонного пола и до того момента, пока раствор еще пластичный. В свою очередь, вторичная усадка происходит до момента полного затвердевания. [1].

Чтобы избежать подобных проблем, были созданы специальные составы - кьюринги. Кьюринги — это покрытия, наносимые на бетонный полы для герметизации трещин, пор. В переводе с английского *curing* англ. – отверждение, затвердевание. Они представляют собой плёнообразующую смесь, которая предотвращает лишнее испарение влаги с поверхности бетона. Многие из них также являются дополнительно защитой для декоративных полов.



Рис.1 Поверхности, покрытые защитными составами

По назначению их разделяют на:

- Составы для защиты свежееуложенного бетона, используются для снижения степени усадки на первичной и вторичной стадии.

Эти составы наносятся на слой сухой смеси (топпинга).

- Составы для улучшения бетонного пола.

Данный вид предназначен для герметизации пор, помогает предотвратить появление цементной пыли. Использоваться может на всех этапах жизненного цикла бетонного пола с момента полного затвердевания.

По взаимодействию с цементом покрытия могут быть:

- Смеси образующие временную тонкую пленку, без взаимодействия с цементом
- Смеси создающие прочное химическое соединение с цементом.

Таблица 1

Основные характеристики составов (при одинаковом расходе)

Бренд	MAPEI	MAPEI	Sika	BASF	BASF
Страна	Италия	Италия	Швейцария	Германия	Германия
Номенклатура	Mapecure S	Mapecure E	Antisol E	MasterKure 216	MasterKure 220
Стоимость, руб/кг	2525	1704	766	1000	1020
Расход, кг/м ²	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15
Основа	Синтетическая	Парафин	Эмульгированные полиолефины	Парафин	Синтетическая
Срок годности, мес	24	24	18	12	6

Анализ продуктов, присутствующих на рынке:

1. При одинаковом расходе, пленкообразующие составы, основой которых является на парафин, дешевле тех, что сделаны на синтетических полимерных дисперсиях
2. Самый выгодный вариант из представленных в таблице – Antisol E на эмульгированных полиолефинах.
3. Составы для защиты свежееуложенного бетона стоят дороже, нежели составы для обслуживания бетонного пола.

4. Срок годности от 6 месяцев до 2 лет. Срок годности также влияет на стоимость.

5. Составы на водной основе имеют меньший расход, за счет возможности разбавить состав в соответствии с желаемым результатом.

6. Стоимость продуктов российских производителей значительно меньше, при большем расходе (почти в 2 раза).

Таблица 2

Основные характеристики составов (при разном расходе).

Бренд	КРИЗ	КРИЗ	BASF
Страна производитель	Россия	Россия	Германия
Номенклатура	ВПМ-ЭП	ПЭВЕЙЛ	MasterKure 111 WB
Стоимость за кг	324 руб.	232 руб.	2500 руб.
Расход кг/м ²	0,27	0,30	0,10
Основа	Парафин	Парафин	Водная основа
Срок годности	12 мес.	12 мес.	12мес.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Дворкин Л.И.* Бетонovedение. Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2021. — 692 с.

2. *Ефимов Б.А., Сканави Н.А., Семенов В.С., Орешкин Д.В.* Бетон. Москва : МГСУ, 2015. 40 .

3. *Зайцев С.С.* Сложности и решения производства бетонных полов с упроченным верхним слоем // Технологии бетонов. - 2021. - N 5. - С. 48-51

СЕКЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ И СТРОИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

*Студентки 4 курса 7 группы ИСА Алексеева Д.С., Полосина Д.В.
Научный руководитель - доц., канд. техн. наук Н.И. Шестаков.*

БИОПОЗИТИВНЫЕ АКУСТИЧЕСКИЕ ЭКРАНЫ ДЛЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В настоящее время автомобильная дорога является одним из наиболее значимых источником шума и вибраций в городских агломерациях. Кроме того, ежегодное увеличение количество транспортных средств в городской среде стимулирует стабильное увеличение количества выбросов вредных веществ в атмосферу [1,2].

Биопозитивность в данном случае рассматривается как совокупность экологических критериев, направленных на уменьшение негативного воздействия на окружающую среду.

В целях координации допустимого шумового давления и предотвращения распространения веществ, опасных для человеческого организма, предлагается использовать акустические экраны, в качестве искусственной преграды вредным для человека вышеперечисленным отрицательным факторам. Типовой акустический экран представляет собой сборную конструкцию, которая состоит из фундамента, несущей конструкции и панелей.

В качестве фотокаталитической добавки применялся наиболее распространенный и общедоступный катализатор – диоксид титана (в анатазной форме), с насыпной плотностью 760 кг/м³ и удельной поверхностью 480 м²/кг. Для снижения плотности бетона и повышения внутренней поверхности, необходимой для реакции фотокатализа, использовалась целлюлозная суспензия, полученная путем механической гомогенизации бумаги в водной среде в соотношении 1:30 по массе.

Известно [3], что оптимальной величиной содержания добавок TiO₂ является диапазона от 0,8 до 1,1%, и 0,7% по массе для волокон целлюлозы.

Исходя из имеющихся данных были изготовлены кубики из цементного камня трёх составов:

- Контрольный образец – в состав, которого не вводились никакие добавки. Принят за основу при контроле получаемых результатов испытаний;
- Состав №1 – в состав которого было добавлено оптимальное содержание добавок. А именно количество TiO₂- 1,0 %, количества

целлюлозы - 0,7%;

- Состав №2 – в состав которого было добавлен только TiO_2 в количестве 1%. Для проверки свойств фотокаталитического бетона без повышения пористости, за счет волокон целлюлозы.

В лабораторных условиях было проведено испытание на морозостойкость образцов всех трех представленных составов по первому базовому методу замораживанием на воздухе образцов, насыщенных водой, и последующим их оттаиванием в воде [4].

Для насыщения образцы на воздухе погружали в воду на треть их высоты и выдерживали 24 ч, затем уровень воды повышали до $2/3$ высоты образцов и выдерживали в таком состоянии ещё сутки, после чего образцы полностью погружали в воду на 48 ч так, чтобы уровень жидкости был выше верхней грани образцов не менее чем на 20 мм. (Рис.1)

Водонасыщенные образцы извлекали из воды, обтирали тканью и помещали в морозильную камеру (Рис.1). После замораживания образцы оттаивали в водяной ванне температурой $22^{\circ}C$. При этом образцы замораживались не менее 2,5 ч и после оттаивали также не менее 2,5 ч.

В ходе испытания мы измеряли изменение прочности бетонных кубиков. Морозостойкость модифицированных образцов выше на 10-20%, чем образцов без добавок (рис. 2).

Анализ информации по поверхностям морозостойкости и ранее опубликованным научно-исследовательским работам позволяет сделать вывод, что разработка акустических экранов из фотокаталитических бетонов – перспективный метод уменьшения отрицательной нагрузки на атмосферу.



а



б

Рис. 1. Испытание образцов на морозостойкость: а – насыщение образцов; б – замораживание образцов

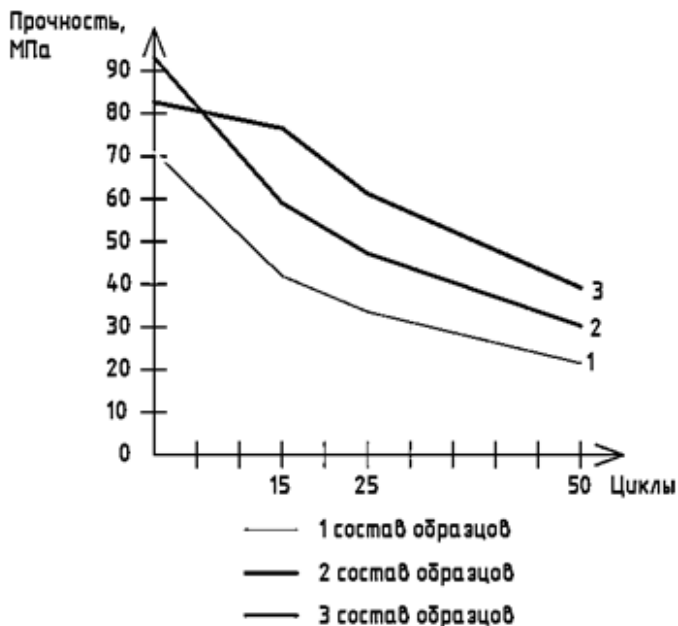


Рис. 2. График зависимости прочности образцов в зависимости от марки по морозостойкости.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ляпидевская О.Б., Фрайнт М.А.* Фотокаталитический бетон для дорожного строительства // Вестник МГСУ. Москва, 2014, С. 125-130. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21225880>.
2. Правительство Москвы департамент природопользования и охраны окружающей среды города Москвы [Электронный ресурс] // Станция измерения воздуха «МКАД 105»: сайт. [2021]. DOI: http://www.dprioo.ru/eco/ru/station_map/o_454269.
3. *Шестаков Н.И., Полосина Д.В., Алексеева Д.С.* Перспективы применения акустических экранов из фотокаталитических бетонов на примере МКАД // Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции «Молодые учёные России». Пенза, 2020, С. 39-43. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44025810>.
4. *ГОСТ 10060-2012*, Бетоны. Методы определения морозостойкости. МГС, Москва, 2018.

ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫХ ПИГМЕНТОВ В ПРОИЗВОДСТВЕ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В настоящее время уделяется много внимания дизайну интерьеров, экстерьеров, ландшафтной среды и инфраструктуре городов в целом. Чтобы быть востребованными на строительном рынке перед производителями строительных материалов стоит задача получение новых материалов, обладающих высокими эксплуатационными, декоративными и функциональными свойствами.

С дизайнерской точки зрения для стройиндустрии интерес представляют люминесцентные пигменты или люминофоры, в качестве компонента строительных материалов, позволяющие получить декоративный эффект видимого свечения в темноте за счет поглощения энергии от естественных и искусственных источников света [1-3].

Современные синтезированные люминесцентные пигменты обладают высокими характеристиками послесвечения, что много выше, чем у природных люминофоров. Наилучшие показатели у сульфидов и селенидов элементов второй группы периодической таблицы Д.И. Менделеева: $MgSe$, $CaSe$, $BaSe$, ZnS , SrS . За счет присутствия малого количества активирующих катионов металлов (например, Cu^{2+}) происходит свечение неорганических люминофоров.

Для большего эффекта люминесценции размеры частиц пигментов должны лежать в пределах от $2 \cdot 10^{-5}$ до $6 \cdot 10^{-5}$ нм. Также для увеличения видимого свечения в темноте к люминофорам добавляют небольшое количество светорассеивателя, прозрачного для ультрафиолетовой области спектра, например оксида кремния (IV).

Далее рассмотрим варианты применения люминофоров в составе строительных материалов, декоративный эффект, которых будет использоваться при проектировании дизайнерских решений помещений, фасадов зданий, планировки городской инфраструктуры.

Люминофоры входят в состав люминесцентных красок, которые применяются во внутренней отделке помещений.

Наибольший интерес в современном дизайне представляет люмобетон, который способен накапливать дневной солнечный свет и отдавать его в темное время суток красивым люминесцентным свечением [1].

Вариантов применения люмобетона в сфере дизайна множество: это может быть фасадная плитка, тротуарный камень, декоративные булыжники, садовые скульптуры, столешницы и т.д. (рис.1).



Рис. 1 Варианты применения люмобетона в сфере дизайна

Изделия из люмобетона обладают высокими эксплуатационными свойствами и являются экологически чистыми (рис.2), вследствие чего могут быть применены как в экстерьерах, так и интерьерах.

Отмечено, что высокие прочностные характеристики свидетельствуют о долговечности изделий из люмобетона. Они могут служить десятки лет, а свечение от входящих в состав бетона люминофоров может продолжаться сотни лет.

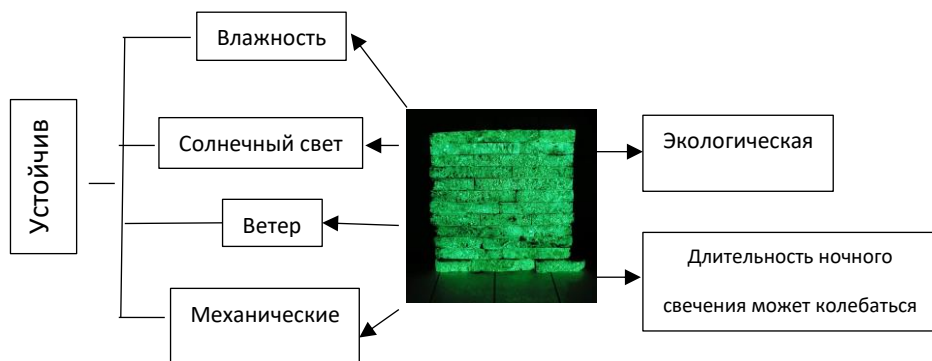


Рис. 2 Характеристика люмобетона

Для изготовления люмобетона используют в соотношении 1:2 цемент прочностью не ниже М300 и мелкозернистый кварцевый песок (фракции 0,3 - 1,2 мм). Для достижения эффекта свечения в цементно-песчаную смесь вводятся люминофоры. Количество люминофора вводится индивидуально в зависимости от требуемой яркости свечения. Чем больше пигмента, тем ярче свечение, но и стоимость изделия выше. Для обеспечения долговечности люмобетона в его состав вводятся различные химические добавки: пластификаторы, гидрофобизаторы и комплексные присадки. Компоненты должны быть тщательно смешаны

с помощью строительного миксера, разлиты в формы, отформованы на вибростоле и высушены в сушильном шкафу в течение 12 часов или более долгое время при естественных условиях.

Таким образом, рассмотренные в работе люминесцентные пигменты – являются уникальным компонентом как для производства люминесцентных красок, так и люмобетона. Благодаря им можно создать эффект свечения в темноте, что является интересным дизайнерским ходом при проектировании интерьеров помещений, экстерьеров зданий и элементов ландшафтной среды инфраструктуры городов и других населенных пунктов. Также такой материал как люмобетон можно было бы использовать при строительстве автомагистралей, тем самым, естественным путем обеспечить освещение трасс и сэкономить энергопотребление при их обслуживании.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванова А.П., Щербацкий М.О.* Попиксельное и люминесцентное освещение бетона и перспективы его применения// В сборнике: Молодежная наука в XXI веке: традиции, инновации, векторы развития. Материалы Всероссийской научно-исследовательской конференции. 2019. С. 108-110.
2. *Омельченко Е.С.* Анализ применения инновационных подходов в дизайне строительных конструкций / Инновации, технологии и бизнес. 2019. № 1 (5). С. 41-44.
3. *Головакин В.С.* Использование люмобетона в качестве решения проблемы малого освещения дорог/ В сборнике: Образование. Наука. Производство. XIII Международный молодежный форум. Белгород, 2021. С. 400-402.

ПЕРСПЕКТИВЫ СБОРНОГО ЖЕЛЕЗОБЕТОННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ДЛЯ МАЛОЭТАЖНЫХ ЗДАНИЙ В РОССИИ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

Строительство малоэтажных зданий неизменно сохраняет свою популярность на территории России, поскольку обладает высокой вариативностью планировочных решений и последующей модификации во время эксплуатации, при этом стоимость строительства и вписываемость в существующий ландшафт участка строительства делают малоэтажное строительство доступным для широкого круга граждан России [1].

Технология каркасного деревянного домостроения характеризуется невысокой стоимостью строительства, малым весом конструкций, отсутствием мокрых процессов, достаточным термическим сопротивлением ограждающей конструкции, но при этом низкой паропроницаемостью.

Технология возведения зданий с применением ячеистобетонных блоков характерна технологичностью возведения здания, хорошей теплотехнической эффективностью, высокой гигроскопичностью и необходимостью устройства защитного слоя конструкции.

Дома из бруса популярны в малоэтажном строительстве, поскольку брус обладает высокими эксплуатационными свойствами, низкой теплопроводностью и высокими морозостойкостью и паропроницаемостью, быстрыми темпами возведения здания, но также подверженностью влажностным деформациям [2].

В отличие от технологий создания монолитного бетонного каркаса, применение технологии сборного железобетона в строительстве малоэтажных зданий получило незначительное распространение. Основной причиной являлась недостаточная разработанность процесса получения реконфигурируемых форм для создания высокоиндивидуализированных малоэтажных зданий. При этом применяемый в сборных элементах конструкции тяжелый бетон по своим физико-механическим свойствам не отличается от бетона для монолитных конструкций, укладываясь в опалубку в оптимальных для твердения условиях завода [3].

Таким образом, целью нашей работы являлся анализ возможных путей повышения эффективности сборной и сборно-монолитной технологий малоэтажного строительства с точки зрения улучшения свойств строительных материалов.

Наряду с достоинствами железобетонные конструкции обладают и недостатками - они имеют значительный вес, высокую себестоимость изделий и транспортные расходы. Все это снижает общую технико-экономическую эффективность строительства из сборных железобетонных изделий [4].

В качестве готового материала для несущих конструкций традиционно применялся классический железобетон. Однако несколько десятков лет назад на рынке появилась уже другая арматура – полимеркомпозитная (ПКА). Она и стала основным конкурентом «классической» арматуры из стали в частном домостроении.

Многие специалисты говорят, что ПКА делает строительство, где предусмотрено армирование строения в значительном объеме, гораздо дешевле. В связи с этим она и применяется практически везде: в перекрытиях, несущих колонных конструкциях, фундаменте. Там, где за железобетонную арматуру придется заплатить от 70 000 до 80 000 рублей, стоимость современного полимеркомпозитного материала будет в половину меньше.

Второе после стоимости преимущество заключается в том, что работать с такой арматурой гораздо легче, чем с обычной. Она меньше весит, ее можно привезти и на собственном автомобиле, длина, если разматывать с бухты, практически неограниченная, ее легко можно порезать. Благодаря ПКА проводить армирование конструкций нужной длины можно без стыков и нахлестов, что обеспечивает экономию, так как гораздо меньше обрезков и отходов. Что касается прутков из стали, то их длина имеет ограничения. Они бывают в длину 5,85 метров и 11,7 метров [4].

Важным аспектом бетонного строительства является также повышение огнестойкости железобетонных конструкций. При воздействии на конструкции открытого огня и высоких температур происходит дегидратация и рекристаллизация цементного камня, сопровождающаяся появлением микротрещин и потерей несущей способности конструкции. Для защиты бетона от воздействия огня применяют конструктивные и организационные решения – огнезащитные системы включают в себя барьерные листы на основе минеральных вяжущих, теплоизоляционные материалы, защитные слои штукатурки, возможно также применение вспучивающихся огнезащитных красок. Применение этих решений позволяет повысить предел огнестойкости до 240 минут. Их устройство возможно в заводских условиях, где они могут оптимально отвердеть [5].

Сами бетонные смеси для получения могут быть модифицированы добавками, повышающими прочностные характеристики готового изделия. Применение новых пластифицирующих добавок может

позволить снизить габариты стены при сохранении несущей способности конструкции, что положительно повлияет на возможность транспортировки и последующего монтажа каркаса здания.

Перспективными для применения в сборных элементах представляются современные системные решения, когда на заводе собирается не просто панель, а многослойная конструкция с требуемыми элементами крепления. Можно получить панели с установленной теплоизоляцией (принцип сэндвич-панелей), узлами примыкания и механического соединения. Применение тщательно продуманных сборных элементов может позволить возводить каркас здания в короткие сроки с достаточной точностью. В течение одного- трёх дней можно получить готовое здание или его каркас, которые полностью готовы к дальнейшим строительным работам.

Применение сборных железобетонных конструкций в строительстве малоэтажных зданий и сооружений частного строительства может позволить значительно повысить его эффективность за счёт снижения трудоёмкости и затрат материалов, при этом частично исключается сезонность строительства. На рынке России уже существуют строительные компании, занимающиеся внедрением сборно-монолитного способа малоэтажного строительства. Тем не менее, повышение характеристик материалов может позволить ещё больше распространить такую технологию в современном строительстве [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Достоинства и недостатки малоэтажного жилого строительства. // Электронный ресурс https://otherreferats.allbest.ru/construction/00197937_0.html, дата обращения 13.03.2022.
2. Технология малоэтажного строительства. // Электронный ресурс <https://kakpostroitdomic.ru/stroitelstvo/maloetazhnoe-stroitelstvo.html> дата обращения 13.03.2022.
3. Что такое железобетонные сборные конструкции — производство и применение. // Электронный ресурс <https://znaybeton.ru/izdeliya/sz/sbornyy-zhelezobeton.html> дата обращения 13.03.2022.
4. Может ли композитная арматура без негативных последствий заменить стальную при строительстве дома. // Электронный ресурс <https://novate.ru/blogs/230321/58292/> дата обращения 13.03.2022.
5. 4 способа огнезащиты бетонных конструкций. // Электронный ресурс <https://znaybeton.ru/rabota-s-betonom/vazhnye-momenty/ognezaschita-zhelezobetona.html> дата обращения 13.03.2022.
6. Сборный и монолитный железобетон в строительстве. // Электронный ресурс https://revolution.allbest.ru/construction/00296161_0.html дата обращения 13.03.2022.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕМБРАННЫХ ПОКРЫТИЙ

В данной статье мы рассмотрим проблемы, возникающие при эксплуатации мембранных покрытий на примере ПВХ мембран и возможные пути их решения.

Мембрана представляет собой защиту, или, иными словами, перегородку, между двумя средами. Для супердиффузионных мембран, например, Gore-tech мембран для изготовления одежды и обуви, характерно пропускать влагу в одном направлении – наружу, т.е. отводить испарение с поверхности тела, поэтому этот материал является полупроницаемым. Также стоит отметить главную задачу кровельных мембран – это защита строений от атмосферной влаги и ветра. Для этого она снабжена микропорами. Однако также существуют мембраны, которые не пропускают ни воду, ни пар. Такие мембраны называются «паробарьером».

На сегодняшний день мембраны уже сумели занять обширную нишу в строительстве, прежде всего в укладке ровных кровельных покрытий, вытеснив с рынка традиционно применяемые битумные и рулонные покрытия [4, 5].

Верхний слой ПВХ-мембран имеет светлый оттенок для повышения эффективности при эксплуатации на открытом воздухе, в том числе для снижения количества поглощаемого тепла и уменьшения нагрева. Нижний слой покрашен в черный цвет для предотвращения ошибок при монтаже [1].

Мембранные покрытия получили распространение на территории России относительно недавно, но уже завоевали его значительную часть. Росту популярности мембранных покрытий из ПВХ мембран способствуют следующие достоинства: стойкость к механическим воздействиям; эластичность и возможность производить гидроизоляцию кровли в труднодоступных местах благодаря наличию неармированных элементов; стойкость к воздействию агрессивных сред, температур и ультрафиолетовому излучению. Материал не поддерживает горение; высокий срок службы материала, простота ремонта.

Для повышения эффективности использования ПВХ мембраны выпускаются в различных вариациях. Часто встречаемый способ – это использование различных армирующих элементов. Основным таким элементом является сетка из полиэстера. Для увеличения сопротивления УФ свету в качестве армирующего элемента применяют стеклохолст или

стекловолокно, или применяют двойное армирование, комбинируя стеклохолст и полиэстровую сетку.

У ПВХ мембран высокий срок службы, однако во многих случаях и материалах, посвященных применению таких мембран, в строительстве приводятся завышенные показатели надежности и долговечности. Основной проблемой, которой подвержены ПВХ мембраны, является преждевременное старение [1].

В летнее время года мембраны интенсивно нагреваются днем и остывают ночью, что приводит к температурным деформациям и ухудшению влажностного режима эксплуатации. Причиной тому является тонкий слой воды, образующийся при остывании на поверхности мембраны. Изначально белая поверхность становится серой из-за атмосферной пыли, оседающей на влажных участках верхнего слоя, и количество поглощаемого тепла увеличивается. Инструкции по эксплуатации мембранных покрытий не предусматривают какие-либо методы борьбы с образованием тонкослойных загрязнений [2].

ПВХ мембраны обладают высокой стойкостью к механическим воздействиям, но было установлено, что мембранная кровля становится уязвимой для крупного града после нескольких лет эксплуатации вследствие происходящего естественного старения [2]. После таких осадков на поверхности кровли образуются белые пятна, имеющие поверхностные и сквозные радиальные и концентрические трещины. Из-за большой плотности таких пятен кровля теряет возможность выполнять свою основную функцию – защиту здания от атмосферных осадков. Однако подобные трещины не были обнаружены на затененных участках, где влияние солнечной радиации ниже.

Можно сделать вывод, что заявленный срок службы таких мембран в 25-30 лет завышен и необходимо улучшать качества полимеров, составляющих основу в конструкции ПВХ мембран, особенно те, которые отвечают за стойкость к УФ-излучению, либо пересмотреть критерии испытаний, по которым производитель заявляет установленные сроки, и, возможно, повысить к ним требования.

При использовании ПВХ мембран могут возникать и другие проблемы, не связанные с составом, структурой или их свойствами.

Самая распространенная из них – это механические повреждения материала при монтаже. Ее причина кроется не только в непрофессионализме рабочих, но и в целом в неправильной организации строительства. На кровле может работать поочередно или одновременно несколько бригад, не все члены которых могут быть осведомлены о правилах обращения с мембранными покрытиями; в таком случае повреждения практически неизбежны.

Установка антенн, блоков кондиционеров и другого оборудования с нарушениями правил эксплуатации мембранных покрытий сильно понижает их эффективность. Самым главным в этой проблеме является то, что нельзя быстро установить, кто ответственен за нарушение технологии. Производитель не готов давать гарантию на свои материалы, так как большинство проблем возникает вследствие ошибок монтажа. Подрядчик так же не берет на себя ответственность, потому что на отечественном рынке много поддельного сырья.

Поэтому одним из путей повышения эффективности использования мембранных покрытий на основе ПВХ мембран является разработка стандартов сертификации материалов, борьба с некачественным сырьем на рынке, а также адаптация технологий по укладке кровли с применением таких покрытий и более четкий контроль на этапе, предшествующем работам с ПВХ мембранами [3]. Проблема экологичности ПВХ мембраны – одна из перечисленных проблем, решение которой пытаются сейчас найти. Летучие пластификаторы, входящие в состав ПВХ мембран, придают им эластичность и прочность при укладке, однако с точки зрения экологии являются проблемой, к тому же при их испарении происходит ухудшение свойств мембранного покрытия. Нельзя не отметить тот факт, что заявленный срок службы мембран в 25-30 лет, а порой и в 50, но при этом как мы видим ПВХ мембраны при учете всех своих недостатков все же имеют большее преимущество перед другими материалами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Севостьянова И.М., Субботина Е.К., Иванова Е.Р., Амзаракова П.А., Лукина Л.А.* Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве. // Московский экономический журнал, №7, 2019 г.
2. *Сысов А.К., Жолобов А.Л., Жолобова Е.А.* О причинах преждевременного разрушения кровель из полимерных мембран. // Инженерный вестник Дона, №5, 2021 г.
3. Компания «ТехноНИКОЛЬ»: Руководство по проектированию и устройству кровель из полимерных мембран. 5-е издание, 2016 г.
4. *Кузнецова Е.В.* Мембранная кровля - современные технологии в строительстве [Электронный ресурс] // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : материалы Всерос. науч.-метод. конф., 31 янв.-2 февр. 2018 г. Оренбург: ОГУ, 2018. с. 266-270.
5. *Акимов С.Ф., Акимова С.Ш.* Оценка технико-экономической эффективности устройства мягкого кровельного покрытия на плоской крыше // Экономика строительства и природопользования, №4, 2018 г.
6. *Гасайниев Р.М., Арчаков А.Т., Балаев А.З., Рагимов Ш.Н., Курбалиев М.Р.* Анализ использования мембраны из поливинилхлорида в строительстве. // Экономика и предпринимательство, 12-4(89), 2017, с. 761-764.

НОВЕЙШИЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И СИСТЕМЫ

Высотные здания и сооружения становятся неотъемлемой составляющей инфраструктуры крупных городов. Условия эксплуатации, а также различное назначение зданий требуют разработки и применения эффективных строительных материалов и технологий. Рассмотрим применение новейших строительных материалов и систем при строительстве высотных зданий и сооружений на разных этапах строительства.

I этап: нулевой цикл – устройство фундамента и подвала, при котором применяются различные виды бетона. Одним из наиболее эффективных и долговечных материалов является базальтофибробетон (БФБ) – бетон, который армируется композитной фиброй, изготовленной из расплавов базальтовых пород (рис. 1). К основным преимуществам БФБ следует отнести высокую прочность на растяжение при изгибе (до 20 МПа), прочность на сжатие (до 55 МПа), морозостойкость (до F500), трещиностойкость, огнестойкость, стойкость к истираемости, коррозионную стойкость и др. БФБ применяется при строительстве мостов, высотных и большепролетных зданий, тротуарной плитки, при возведении взрывоопасных объектов и гражданских зданий в сейсмоопасных зонах [1].



Рис.1 Базальтофибробетон

II этап: общестроительные работы – возведение опалубки, несущих стен и крыши. Обычно монтаж и демонтаж опалубки занимает довольно продолжительное время. Рассмотрим технологию быстросборной/разборной опалубки для возведения стен зданий на примере строительства стадионов «Казань-Арена» и «Открытие-Арена» [2]. В отличие от обычной опалубки, которая собирается на строительной

площадке, быстросборная опалубка доставляется на строительную площадку модулями и скрепляется «быстрыми замками». При разборке такой опалубки достаточно ослабить замки и быстро перенести ее на новое место (рис. 2).



Рис. 2 Быстросборная/разборная опалубка

В последние годы все большую популярность приобретает технология несъемной опалубки (рис. 3). Конструкция представляет собой пустотелые блоки, которые укладываются вдоль периметра здания, затем пустоты армируются и заливаются бетонной смесью. При средней толщине таких стен в 25 см показатели теплосбережения сравнимы с кирпичными стенами толщиной в 65 см. Преимущества технологии: быстрота сборки, снижение массы конструкции, тепло- и звукоизоляция, возможность возведения зданий в любых климатических условиях.



Рис. 3 Несъемная опалубка из пенополистирола

Существует еще одна интересная бельгийская технология строительства зданий GABLOCK [3]. Система представляет собой конструктор из блока, сердцевина которого состоит из пенополистирола с добавлением углерода (рис.4). Блоки имеют высокие теплотехнические характеристики, а OSB каркас с технологией соединения Ship Pass обеспечивает простоту монтажа и низкий вес элементов. Заливка

вертикальных швов клей-пенной ликвидирует любую возможность просачивания воздуха и поддерживает минимальный уровень теплопотерь.



Рис. 4 Технология GABLOCK

III этап: монтаж и утепление всех проемов. Здесь стоит выделить утеплитель spideREX K8, разработанный итальянскими инженерами. Он представляет собой плиты из вспененного полистирола и полипропиленовой каркасной сетки, которые обеспечивают высокую теплоизоляцию и простоту нанесения штукатурки. Специальный узор решетки создан для удобного крепления на металлический стержень и фиксации нанесенного жидкого раствора. Это позволяет повысить срок службы финишного покрытия.

IV этап: разводка и монтаж коммуникаций – прокладывание труб, монтаж котельного оборудования и установка сантехники. Среди эффективных материалов, применяемых для производства труб, особый интерес представляет полибутен (PB-1), который объединил в себе все преимущества сшитого полиэтилена и полипропилена [4]. Трубы из полибутена обладают высоким сопротивлением к растрескиванию, гибкостью, коррозионной стойкостью.

V этап: внутренние отделочные работы выполняются в зависимости от назначения помещения, от пожеланий и возможностей заказчика.

В заключение можно подвести следующий итог: XXI век принес нашему миру много новых технологий, которые в скором времени заменят технологии XX века.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Перфилов В.А.* Фибробетоны с повышенной прочностью, трещиностойкостью, морозостойкостью, водопроницаемостью и долговечностью // *Строй Мастер.* – 2008. – № 1. – С. 22.
2. <https://skladovoy.ru/innovacii-i-texnologii-v-sovremennom-monolitnom-stroitelstve.html>.
3. <https://gablok.be/en/>
4. <https://www.c-o-k.ru/articles/polibuten-elitnye-truby>.

*Студент 2 курса бакалавриата 32 группы ИСА Леканов Н.А.
Научные руководители – канд. техн. наук, доц., И.В. Козлова,
преподаватель М.О. Дударева*

ПРИМЕНЕНИЕ ТОНКОДИСПЕРСНОГО КОМПОНЕНТА НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА ДЛЯ ЦЕМЕНТНЫХ СИСТЕМ

Современный период развития строительного материаловедения в России и за рубежом характеризуется процессами активного поиска и синтеза новых добавок для материалов на основе неорганических вяжущих веществ, которые могли бы улучшить их свойства или придать им комплекс новых характеристик. Появление у традиционных материалов новых свойств напрямую связано с процессами структурообразования в цементной матрице, управлять которыми становится возможным при помощи введения в состав композита различного рода тонкодисперсных добавок [1,2,3].

Различными авторами [4,5,6] активно исследуется влияние на свойства цементного камня частиц оксидов кремния, титана, алюминия, тонкодисперсных шлаков, нанокремнистых структурирующих добавок.

В последние годы интенсивно разрабатывается новый класс фотокаталитических материалов на основе цементных композитов, которые находят применение для изготовления самоочищающихся конструкций, способных дольше сохранять эстетичный внешний вид за счет возрастания гидрофильности. Поверхности таких материалов к тому же способны разлагать оседающие на них молекулы летучих органических соединений до безопасных углекислого газа и воды, способствуя тем самым улучшению состояния воздушных бассейнов в крупных городах [7].

Одним из перспективных соединений, проявляющих фотокаталитическую активность уже в видимой части спектра является титанат висмута $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ со слоистой структурой типа перовскита, который также может быть отнесен к фазам Ауривиллиуса. Для данного структурного типа характерно чередование перовскитоподобных блоков $(\text{Bi}_2\text{Ti}_3\text{O}_{10})^{2-}$ с висмуткислородными слоями $(\text{Bi}_2\text{O}_2)^{2+}$ [8]. Титанат висмута относится к полупроводниковым фотокатализаторам. Фотокаталитический процесс под воздействием квантов света сопровождается переносом электрона из валентной зоны в зону проводимости с последующей его миграцией на поверхность частицы полупроводника, где начинают протекать вторичные реакции окисления органических загрязнителей. Вероятно, введение в состав цементных систем частиц титанат висмута способно придать цементному камню способность к самоочищению за счет окислительно-восстановительных

реакций разложения адсорбированных загрязнителей, а также из-за повышения гидрофильности поверхности.

В настоящей работе слоистый титанат висмута был синтезирован по классической твердофазной технологии из оксидов, предварительно прокаленных в муфельной печи при температуре 600°C для удаления сорбированной влаги и углекислого газа. Затем рассчитанные навески оксидов перетирали в агатовой ступке, прессовали в таблетки и постадийно отжигали в муфельной печи с промежуточными перешихтовками. Полученный титанат висмута вводили в состав цементных систем в виде стабилизированных с помощью ультразвуковой обработки водных и воднополимерных суспензий в количествах 10, 30, 50 г/л вместо воды затворения. Обработка суспензий ультразвуком позволяет добиться более равномерного распределения частиц титаната висмута в объеме цементного композита.

На первом этапе определяли нормальную густоту и сроки схватывания цементного теста. Отмечено, что при введении в цемент суспензий с содержанием титаната висмута 10, 30 и 50 г/л наблюдается увеличение нормальной густоты цементного теста, а сроки схватывания уменьшаются. Вероятно, это связано с тем, что частицы добавки играют роль центров зародышеобразования.

На втором этапе исследования была изучена седиментационная устойчивость водных и воднополимерных суспензий. Установлено, что чем больше концентрация частиц в суспензии, тем быстрее протекает процесс оседания.

Физико-механические характеристики полученных образцов цементного камня изучали, оценивая потери при прокаливании и прочность при сжатии. Можно отметить, что уже в 3 и особенно в 7 суток твердения начинается прирост прочности для образцов с содержанием $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ в количестве 30 и 50 г/л (на 12,7 и 23,0%). К моменту достижения марочной прочности в 28 суток прирост прочности для образцов 10 и 50 г/л составляет соответственно 21,0 и 15,0%. Для образца с содержанием 10 г/л ультрадисперсного компонента наблюдается наиболее интенсивный рост прочности в поздние сроки твердения. Данный факт, вероятно, можно объяснить наиболее равномерным распределением добавки в объеме цементного композита. Для образцов, полученных с применением 0,2 г/л пластификатора Melflux к 7 суток твердения активность гидратационных процессов модифицированных образцов преобладает над немодифицированным образцом (степень гидратации в возрасте 7 суток возросла на 5, 10 и 16%, к 28 суткам - на 4, 8 и 12%), что находится в соответствии с результатами прочности на сжатие. Вероятно, причиной этому служит совместное влияние добавки и пластификатора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Артамонова О.В.* Синтез наномодифицирующих добавок для технологии строительных композитов: монография. Воронеж, 2016. 100с.

2. *Самченко С.В., Борисенкова И.В.* Влияние одномикронного шлама на свойства цемента. Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т. 25. – № 6(122). – С. 19-22.

3. *Чернышов Е.М., Артамонова О.В., Славчева Г.С.* Прикладные нанотехнологические задачи повышения эффективности процессов твердения цементных бетонов. Нанотехнологии в строительстве: научный интернет-журнал. – 2017. – Т. 9. – № 1. – С. 25-41. – DOI 10.15828/2075-8545-2017-9-1-25-41.

4. *Хрусталеv Б.М., Леонович С.Н., Потапов В.В., Грушевская Е.Н.* Композиционные материалы на основе цементных вяжущих, модифицированных нанодобавками SiO₂ Наука и техника. 2017. Т. 16, № 6. С. 459–465. DOI: 10.21122/2227-1031-2017-16-6-459-465

5. *Хузин А.Ф., Габидуллин М.Г., Бадертдинов И.Р.* Комплексные добавки на основе углеродных нанотрубок для высокопрочных бетонов ускоренного твердения. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 1(23). – С. 221-226.

6. *Перцев В.Т., Перова Н.С., Леденев А.А., Загоруйко Т.В.* Влияние наноструктурирующих компонентов на характеристики цементного камня и свойства высокопрочных и термостойких бетонов. Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. – № 3(49). – С. 163-171.

7. *Агафонов А.В., Редозубов А.А., Козик В.В., Краев А.С.* Фотокаталитическая активность нанопорошков диоксида титана, полученных золь-гель методом при различных значениях рН. Журнал неорганической химии. 2015, том 60, №8, с.1001-1008.

8. *Ломанова Н.А., Морозов М.И., Уголков В.Л., Гусаров В.В.* Свойства фаз Ауривиллиуса в системе Vi₄Ti₃O₁₂-ViFeO₃. Неорганические материалы, 2006 том42 №2 с 1-7.

ЦЕМЕНТНЫЕ БЕТОННЫЕ СМЕСИ ДЛЯ 3D-ПЕЧАТИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ²

Технология трехмерной печати (3D-печать) является сравнительно новой технологией строительного производства, как правило, основанной на послойной экструзии материала по цифровой модели. Технология 3D-печати обладает высокой эффективностью, экономичностью и разнообразием архитектурных форм [10, 11].

В связи с развитием технологии 3D-печати актуальной задачей является разработка материала, характеризующегося балансом между требуемой текучестью и вязкостью. Из-за отсутствия опалубки используемый материал (строительные «чернила») должен обеспечивать плавное выдавливание из 3D-принтера и сохранение формы после укладки слоя. Это означает, что бетонная смесь должна обладать управляемой реологией, изменяющейся после укладки.

К бетонным смесям предъявляются требования [12] по текучести, которая обеспечивает перекачку и возможность формирования непрерывного слоя (сплошность) через сопло 3D-принтера, управляемую скорость схватывания после экструзии, а также достаточную несущую способность, чтобы выдерживать нагрузку от следующих слоев без значительных деформаций и разрушений.

Добавки, вводимые в бетонную смесь, регулируют необходимые свойства от момента изготовления до укладки и уплотнения. С их помощью имеется возможность регулирования сроков и механизма твердения, а также улучшения структуры и конечных характеристик полученной смеси [13].

В мире накоплен богатый опыт по разработке и исследованию бетонных смесей для технологии 3D-печати в строительстве. Так в [14] учеными из Калифорнии показано, что повышение стабильности формы экструдированного слоя можно обеспечить за счет использования диоксида кремния и наноглины в составе «чернил» для 3D-печати.

Альтернативный подход по снижению оплывания экструдированного слоя предложен в [16], который основан на снижении средней

² Работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ (проект «Теоретико-экспериментальное конструирование новых композитных материалов для обеспечения безопасности при эксплуатации зданий и сооружений в условиях техногенных и биогенных угроз», проект # FSWG-2020-0007).

плотности. В качестве материала для печати использованы составы бетона на полых микросферах.

Введение полипропиленового волокна в составе цементного бетона позволило решить сразу несколько задач [15]: обеспечение требуемых для экструзии динамического предела текучести и пластической вязкости бетонной смеси, а также низкой ранней усадки бетона.

В [17] описан опыт применения шлака, опоки, микрокремнезема доломитовой пыли и раствора силиката натрия вместе с пластифицирующей добавкой на основе поликарбоксилатэфира для управления пределом текучести и вязкостью портландцементной пасты. Показано, что комбинированные добавки в паре с микрокремнеземом оказывают положительный эффект как для улучшения механических свойств цементного камня, так и сроков схватывания вяжущего. Использование таких комплексных полимер-минеральных модификаторов позволяют уменьшить расход воды, снизив пористость и увеличив прочность на сжатие, а также снизить водопроницаемости. Аналогичный эффект отмечен в [18].

В качестве примера решений, направленных на уплотнение микроструктуры цементного камня и дальнейшее улучшение эксплуатационных свойств цементных композиций, в [19] описана возможность введения углеродных наночастиц.

Различные технологические и рецептурные подходы по разработке и совершенствованию материалов для 3D-печати, требуют определения стандартов качества, предъявляемых к строительным «чернилам». В России в 2021 году успешно разработаны и внедрены государственные стандарты (ГОСТ Р 59095, ГОСТ Р 59096, ГОСТ Р 59097) в области аддитивного строительного производства, что нормирует подходы исследователей к достижению целевых показателей для получения эффективных строительных материалов для 3D-печати.

Перспективным направлением получения материалов для 3D-печати является комбинирование подходов по использованию оптимизированных пластифицированных цементно-минеральных композиций на легких заполнителях.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

10. Xiao J., Ji G., Zhang Y., Ma G., Mechtcherine V., Pan J., Wang L., Ding T., Duan Zh., Du Sh. Large-scale 3D printing concrete technology: Current status and future opportunities // Cement and Concrete Composites. - 2021. Vol. 122. 104115.

11. *Muthukrishnan Sh., Ramakrishnan S., Sanjayan J.* Technologies for improving buildability in 3D concrete printing // *Cement and Concrete Composites.* - 2021. Vol. 122. 104144.

12. *Zhang Y., Zhang Y., She W., Yang L., Liu G., Yang Y.* Rheological and harden properties of the high-thixotropy 3D printing concrete // *Construction and Building Materials.* - 2019. Vol. 201. P. 278-285.

13. *Сорокина Н.С., Пахомов А.Н., Банин Р.Ю.* Влияние суперпластификаторов на свойства бетонной смеси // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук.* - 2014. №6-1. С. 142-145.

14. *Kazemian A., Yuan X., Cochran E., Khoshnevis B.* Cementitious materials for construction-scale 3D printing: Laboratory testing of fresh printing mixture // *Construction and Building Materials.* - 2017. Vol. 145. P. 639-647.

15. *Mien V. Tran, Yen T.H. Cu, Chau V.H. Le.* Rheology and shrinkage of concrete using polypropylene fiber for 3D concrete printing // *Journal of Building Engineering.* - 2021. Vol. 44. 103400.

16. *Зыонг Т.К., Иноземцев А.С.* Пригодность бетонных смесей на полых микросферах для 3d-печати в строительстве // *Современное строительство и архитектура.* - 2020. № 3 (19). С. 16-21.

17. *Janavicius E., Dauksys M., Skripkiunas G., Nagrockiene Dz., Daugeliene A.* The effect of cement modification on the rheological properties of cement paste // *Journal of civil engineering and management.* – 2013. Vol. 19. Iss. 1. P. 125-130.

18. *Иноземцев А.С., Королёв Е.В., Зыонг Т.К.* Структурная модель течения пластифицированных цементно-минеральных смесей // *Строительные материалы.* - 2020. № 4-5. С. 90-96.

19. *Ur Khanova L.A., Buyantuev S.L., Ur Khanova A.A., Lkhasaranov S.A., Ardashova G.R., Fediuk R.S., Svintsov A.P., Ivanov I.A.* Mechanical and electrical properties of concrete modified by carbon nanoparticles // *Magazine of Civil Engineering.* - 2019. Vol. 92. Iss. 8. P. 163-172.

*Студент 2курса 32 группы ИСА **Мярикянов И.М.***

*Научные руководители доц., канд.техн. наук, доц. **И.В. Козлова,***

*преподаватель **М.О. Дударева***

ПРОИЗВОДСТВО ТРЕХСЛОЙНЫХ СТЕНОВЫХ ПАНЕЛЕЙ НА ОСНОВЕ НАНОБЕТОНА

В свете современных тенденций широко применяется наномодифицированный бетон, обладающий повышенными физико-механическими показателями. Добавлению нанотрубок в такие строительные материалы как бетон, приводит к повышению его прочности в несколько раз [1-4].

Актуальность и новизна работы заключаются в том, что в условиях крайнего севера особенно необходима технология строительства, снижающая себестоимость квадратного метра и увеличивающая скорость возведения зданий, поскольку это связано с особенностями региона: короткий строительный период, высокая стоимость транспортных услуг и строительных материалов.

Цель работы: применить наномодифицированный бетон в производстве трехслойных стеновых панелей в условиях Крайнего Севера.

Задачами исследования являются: испытание предельной прочности наномодифицированного бетона; разработка технологии строительства зданий из трехслойных стеновых панелей на основе нанобетона; проектирование трехслойной стеновой панели из нанобетона, выполняющей роль ограждающей конструкции, каркаса и фундамента; создание экспериментального образца строительного объекта в виде гаража с применением наномодифицированного бетона.

Для исследований были изготовлены образцы бетона с содержанием цемента в 250 кг/м^3 и с добавлением предварительно диспергированной водно-полимерной суспензии одностенных углеродных нанотрубок фирмы TUBALL.

В Арктическом Инновационном Центре Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова были проведены исследования наномодифицированного бетона электронным микроскопом (рис. 1).

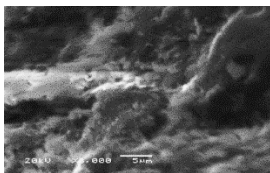


Рис. 1. Электронно-микроскопические исследования нанобетона

Испытания образцов по прочности на сжатие и изгиб проводились по межгосударственному стандарту 30744-2001 на гидравлическом прессе. Были получены следующие значения прочности нанобетона: на сжатие - 33,6 МПа; на изгиб – 8,2 МПа.

Далее была проведена сравнительная характеристика бетонов (Табл.1). Из таблицы 1 видно, что нанобетон не уступает по прочности тяжелому бетону, но преобладает над легким бетоном.

Таблица 1

Сравнительная характеристика бетона

Виды бетона	Изгиб, МПа	Сжатие, МПа
Легкий бетон	1,0-1,2	8,0 - 10,0
Нанобетон	8,2	33,6
Тяжелый бетон	2,0-8,0	10,0-50,0

После испытаний и сравнительного анализа отмечено, что был получен бетон, обладающий прочностными характеристиками тяжелого бетона. Установлено, что количество цемента сокращено с 500 кг/м³ до 250 кг/м³ при добавлении 1 грамма диспергированных в воде УНТ.

На основании полученных испытаний образцов, содержащих суспензии УНТ, была проведена апробация: построен гараж 6×6 м из трехслойных стеновых панелей на основе нанобетона 6×3 м. Изготовление панелей производилось прямо на участке, что сокращает затраты. На подготовленной поверхности собиралась опалубка для заливки панелей. Толщина первого слоя составляет 2,5 см, сверху накладывается полистирол толщиной 20 см, позже запечатывается бетонным слоем толщиной 2,5 см. При формировании опалубки расставлялись закладные детали, прокладывались нагревающие кабели, ускоряющие процесс схватывания бетона. В момент замешивания бетонного раствора добавляли водно-полимерную суспензию УНТ, фиброволокно. После заливки каждого из слоев использовалась виброрейка для уплотнения бетона. Спустя 8 часов бетон набирал распалубочную прочность и проводилась распалубка панелей для просушки. На земельном участке были залиты 5 панелей, которые в последующем были подняты краном и смонтированы между собой с помощью сварки стальных закладных. На строительство данной конструкции ушло 7 дней, сам процесс монтажа панелей занял менее 4 часов. Таким образом был, построен гараж 6×6 м с применением наномодифицированного бетона (рису. 2).



Рис. 2. Внешний вид экспериментального объекта

Была применена технология строительства зданий из трехслойных стеновых панелей из нанобетона в условиях севера. Спроектированы трехслойные стеновые панели размерами 6×3 м, 7,2×4,5 м. Проверены возможности наномодифицированного бетона. Рассчитан коэффициент термического сопротивления стен, он составил 5,07 Вт/(м²·°С).

. Создан экспериментальный объект в виде гаража с применением наномодифицированного бетона, в котором сокращена толщина бетонного слоя до 25 мм в трехслойной бетонной панели с каждой стороны, что позволяет уменьшить вес, следовательно, сократить расходы на материалы, трудовые ресурсы, транспортировку и монтаж изделий. Удалось сократить количество цемента без снижения физико-механических свойств бетона, за счет добавления 1 грамма УНТ. Таким образом, себестоимость материала была снижена на 20% в условиях Крайнего Севера.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Елецкий А.Н.* Углеродные нанотрубки // Успехи физических наук. Т. 167, № 9. — М: РТЦ «Курчатовский институт», 1997.
2. *Самченко С.В., Козлова И.В.* Анализ эффективности применения углеродных нанотрубок в производстве строительных материалов Инновационное развитие современной науки: сборник статей И66 Международной научно-практической конференции / отв. ред. А.А. Сукиасян. Уфа: РИЦ БашГУ, 2014, Ч.3 - С.332 – 335.
3. *Юдович М.Е., Пономарев А.Н.* Наномодификация пластификаторов. Регулирование их свойств и прочностных характеристик литых бетонов. / «СтройПРОФИль», № 6, 2007, с. 49–51.
4. *Самченко С.В., Земскова О.В., Козлова И.В.* Стабилизация дисперсий углеродных нанотрубок при ультразвуковой обработке Техника и технология силикатов. Международный журнал по вяжущим, керамике, стеклу и эмалям. М., 2014, Т.21, №3 - С. 14-18.

ЭЛЕКТРОПРОВОДЯЩИЙ БЕТОН

В современном мире строительства бетонные и железобетонные конструкции применяются в различных сферах техники. Новые сферы использования бетона испытывают потребность в новых исследованиях его свойств [1].

Известно, что обычный бетон при определенной температуре и влажности может проводить электрический ток, но это нестабильное его свойство [2]. В основном именно электропроводность обычного бетона наносит вред, так как она взаимосвязана с электрокоррозией арматуры в железобетонных конструкциях под воздействием блуждающих токов [3].

Но возможно электропроводность обычного бетона использовать для заземления строительных конструкций, работающих под воздействием электрического тока. Однако при сезонных колебаниях температуры и влажности электрическое сопротивление обычного бетона меняется на 6—8 порядков. Объясняется это тем, что он обладает ионным характером проводимости. При насыщении бетона водой происходит переход легкорастворимых компонентов цементного камня в жидкую фазу, и он становится полупроводником с низким удельным электрическим сопротивлением [4,5].

Исследования основаны на другом принципе получения электропроводящих бетонов: это поиск добавки, повышающей электропроводность бетона, и создание на ее основе композита — специального бетона с отличительными свойствами электропроводника.

Итогом стал электропроводящий бетон, получивший название **бетэл** - **бетон электротехнический**, обладающий и конструктивными свойствами обычного бетона и способностью пропускать электрический ток.

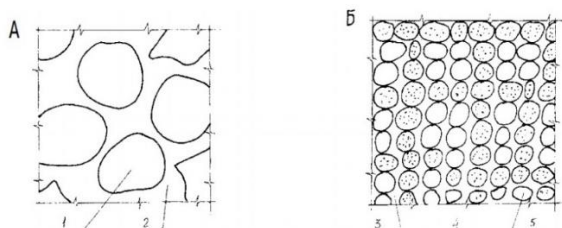


Рис.1. Принципиальная схема бетэла: 1 – песок (диэлектрик-наполнитель); 2 – электропроводный металлосиликат; 3 – гелевая оболочка; 4 – агрегаты металлического порошка; 5 – агрегаты цемента [5].

Теоретические и экспериментальные исследования показали, что помимо токопроводящих добавок для создания бетэла, необходимо изменять в требуемом направлении состав фаз и структуры цементного камня и бетона. Для получения электропроводного бетона в качестве добавки главным образом используют кокс пековый (температура приготовления около 1300°C) с электронной проводимостью, который и превращает бетэл в неметаллический композит – проводник. С точки зрения электрической, конструктивной и экономической эффективности, можно сказать, что наиболее подходящим для создания бетэла являются составы на цементном вяжущем, так как они имеют, помимо высоких конструктивных и технико-экономических показателей, достаточно хорошую короностойкость и дугостойкость. Кроме того, для получения бетона с заданными электрическими свойствами необходимо создавать оптимальные условия твердения – гидротермальная обработка при повышенном давлении (пропаривание в автоклаве при давлении 0,8-1,5 МПа) [5,6].

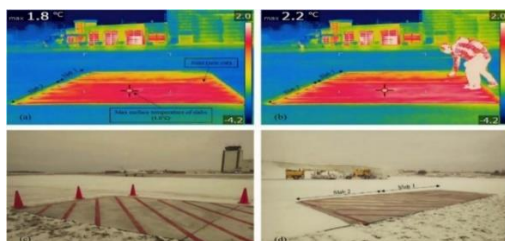


Рис. 2. Инфракрасное изображение плит

Предварительные исследования прочностных и электрических свойств бетэла показали, что он может быть получен с большим диапазоном электрических и механических свойств [7]:

- объемный вес: от 1,8 до 2,2 г/см³;
- прочность на растяжение: от 15 до 30 кгс/см²;
- прочность на сжатие: от 85 до 250 кгс/см²;
- удельное электрическое сопротивление: от 10 до 104 Ом*см;
- допустимая плотность тока: от 10 до 0,1 А/см²;
- рабочий диапазон температуры: от 60 до 150 °С;
- допустимая скорость перегрева: 200 °С/с;
- рабочая температура перегрева: 120 °С;
- удельная разрушающая энергия в случае однократного включения токовой нагрузки: от 230 до 300 Дж/см³;
- удельная теплоемкость: 0,22 ккал/г°C;

- удельный объем, при котором происходит рассеивание 1 МДж энергии при перегреве материала на 1°С: 0,57.

Стоимость электропроводящих бетонов не выше стоимости строительных бетонов вследствие использования стандартных составляющих бетонов при их производстве и изготовлении конструкций на их основе.

Бетэл можно использовать и как электроотопительный элемент. Конструкции из него упростят сложные системы отопления, появится возможность формирования индивидуального микроклимата в жилых пространствах, сократятся сроки монтажа зданий и снизятся ряд эксплуатационных расходов [5,8].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

3. Возможности использования электропроводного бетона (бетэла) в гражданском строительстве: (Информ. обзор). Сборник статей. М. : Центр науч.-техн. информации по гражд. стр-ву и архитектуре, 1971.55с.

4. *Ахвердов И.Н., Маргулис Л.Н.* Неразрушающий контроль качества бетона по электропроводности. Минск : Наука и техника, 1975. С. 66—126.

5. *Алексеев С.Н.* Коррозия и защита арматуры в бетоне. М.: "Стройиздат", 1968 г. с. 8.

6. *Бернацкий А.Ф., Целебровекей Ю.В., Чунчин В.А.* Электрические свойства бетона. - М.: Энергия, 1980г. 220 с.

7. Использование бетона в качестве электропроводного материала. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://regionopi.ru/spravochnik/ispolzovanie-betona-v-kachestve-elektroprovodnogo-materiala/>

8. *Илюхин А.В., Заринова И.И.* Влияние структурных характеристик на электрофизические свойства строительных электропроводных композиционных материалов на основе цементного вяжущего. Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2017 году. Сборник трудов Российской академии архитектуры и строительных наук. М.: 2018. С.213-220.

9. Регулирование электрических характеристик бетона и перспективы его применения в строительстве. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://aqua-rp.com/provodit-li-beton-elektricheskiy-tok/>

10. *Бахрах А.М., Ларсен О.А.* Направления использования токопроводящего бетона. Строительное материаловедение: настоящее и будущее. Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвящённой 90-летию выдающегося учёного-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова. Москва, 2020. С. 270-273.

Студент 2 курса 33 группы ИСА Сатийаджиев Х.М.

Научные руководители – доц., к.т.н. А.С. Пилипенко, асп. А.Р. Скаев

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ АЭРОГЕЛЕЙ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ.

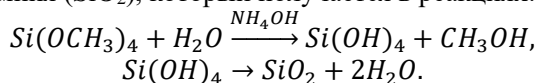
В строительной сфере наблюдается постоянный интерес к получению теплоизоляционных материалов с повышенными теплотехническими характеристиками. Большое количество исследований посвящено применению в строительстве аэрогелей различного состава.

Аэрогели – мезопористые материалы с пористостью 98-99%, обладающие сравнительно высокой прочностью, теплопроводностью 0,020-0,035 Вт/(м×К) и средней плотностью 2 кг/м³.

Аэрогели на основе разных веществ имеют различные внешние характеристики. Так, аэрогели на основе кварца (SiO₂) и оксида алюминия (Al₂O₃) прозрачны и имеют голубой оттенок, на основе оксида железа – заметен цвет ржавчины, аэрогель из углеродных нанотрубок представляет собой пластичное вещество черного цвета и т.д. Инновационные материалы могут обладать свойствами, которые необходимы строительным материалам для выполнения ограждающих и защитных функций. Низкие значения теплопроводности и плотности позволяют использовать аэрогели в качестве утеплительного слоя. Также стоит отметить, что скорость распространения звука в аэрогелях до 100 м/с, что позволяет использовать его как шумоизоляционный материал [1].

Изготовление аэрогеля - трудоемкий процесс и требует специальных условий. Ученные из лаборатории ядерных проблем ОИЯИ совместно с НИЯФ г. Болоньи описывают в своем исследовании процесс получения аэрогеля на основе диоксида кремния [2].

Изготовление аэрогеля начинается с приготовления алкоголя диоксида кремния (SiO₂), который получается в реакциях:



Кварцевый аэрогель популярен из-за чрезвычайно низких показателей теплопроводности – 0,017 Вт/(м×К) и плотности - 1,9 кг/м³. Для сравнения: плотность воздуха равна 1,27 кг/м³, а показатели пенополиуретана, который долгое время считался самым эффективным теплоизолирующим материалом (коэффициент теплопроводности может достигать 0,023 Вт/(м×К)) заметно проигрывают новому инновационному материалу. Все эти свойства объясняются структурой кварцевого аэрогеля, которая представлена разветвлённой сетью из сферических кластеров диоксида кремния диаметром до 5 нм и пор

между ними размерами до 100 нм, большую часть которой составляет воздух.

Производство и использование аэрогелей в строительной области неуклонно растет. С тех пор как инженеры строительных компаний научились создавать аэрогели на основе керамического волокна и стеклохолста, этот материал стал использоваться в теплоизоляции ограждающих конструкций, трубопроводов, цокольных этажей, дверных и оконных проемов, кровли.

Ученные из Национального университета Сингапура придумали способ получать аэрогели путем переработки полимерных отходов. Это поможет сократить выбросы вредных веществ и уменьшит степень загрязнения природы. Новый материал назвали ПЭТ-аэрогель так, как он изготавливается из полиэтилентерефталата [3]. Так, из одной пластиковой бутылки может получиться ПЭТ-аэрогель размером с лист А4. Материал имеет низкую теплопроводность равную примерно 0,037 Вт/(м×К) и модуль Юнга равный 0,95–4,19 кПа, что говорит о мягкости материала. Примечательно, что китайская технология позволяет менять свойства материала. Например, при добавлении аминогруппы ПЭТ-аэрогель обретает свойства фильтра, который захватывает пылевые частицы и углекислый газ. Возможно, в будущем эта технология будет применяться в вентиляционных системах. А при добавлении в аэрогель химических соединений метильных групп материал обретал способность эффективно поглощать нефть и другие маслянистые жидкости. В перспективе это свойство может быть применено в технологии фильтрации воды.

Керамические аэрогели выделяются своей легкостью, чрезвычайной прочностью и устойчивостью к физическим и термическим воздействиям. В лабораторных условиях образец подвергли экстремальным температурным скачкам с 198 до 1400°С. Также ученые хранили образец в условиях 1400 °С семь дней, после чего он потерял меньше 1% своей механической прочности [4]. Любопытной особенностью этого материала является реакция структуры сетки на внешние воздействия. Керамический аэрогель при нагревании сжимается, при охлаждении – расширяется, а также сжимается перпендикулярно направлению сжатия, которое вызвано внешними силами (в то время как большинство расширяется перпендикулярно направлению сжатия). Керамический аэрогель уже применяется НАСА в качестве изолирующего материала для оборудования на марсоходах. Из всего вышенаписанного об этом инновационном материале можно сделать очевидный вывод, что он может быть применен в строительной сфере. Прочный и теплоудерживающий материал пригодится в

строительстве зданий и сооружений, на производствах с использованием высоких температур.

Говоря о строительном утеплителе, на ум сразу приходят пенополистирол, минеральная вата, полиэтилен и другие привычные нам материалы. Аэрогели не сильно распространены в строительной отрасли и не являются традиционным средством теплоизоляции. Рулонный кварцевый аэрогель относительно других является самым распространенным, но на российском рынке его цена превышает традиционные утеплительные материалы.

Так как все вышеописанные экспериментальные характеристики аэрогелей делают этот материал идеальным для использования в строительстве, то можно сделать вывод, что его повсеместному использованию препятствуют дорогое изготовление, сложность масштабного производства.

Вышеупомянутые сингапурские ученые работали также над аэрогелем на основе каучука. В своих опытах они использовали выброшенные крышки, чтобы сделать производство материала не только более экологичным, но еще и более дешевым в будущем. Создание 1 м² каучукового аэрогеля заняло 12-13 часов и обошлось примерно в 7\$. Ученые утверждают, что это хорошие новости, и в будущем производство нового материала можно будет легко масштабировать [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Васильева И.Л., Немова Д.В.* Перспективы применения аэрогелей в строительстве // *Alfabuild*, №4(6), 2018, стр. 135-145.
2. *Акимов Ю.К. и др.* Изготовление больших образцов аэрогеля диоксида кремния в 37-литровом автоклаве и исследование его оптических свойств // *Particles and Nuclei. Letters*, №1[98], 2000.
3. *S. Salomo, T.X. Nguyen, D.K. Le, X. Zhang, N. Phan-Thien, H.M. Duong*, Advanced fabrication and properties of hybrid polyethylene tetrachalate fiber-silica aerogels from plastic bottle waste // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 556, 2018, Pages 37-42.
4. Создан сверхлегкий керамический материал, который выдерживает экстремальные температуры. [Электронный ресурс] Автор - Ab-News, Дата - 15.02.2019. <https://ab-news.ru/2019/02/15/sozdan-sverhlegkiy-keramicheskij-material-kotoryiy-vyiderzhivaet-ekstremalnyie-temperaturyi/>
5. Технология создания аэрогелей из отработанных шин создана в Сингапуре. [Электронный ресурс] Автор - Plastinfo.ru, Дата – 23.03.2020. https://plastinfo.ru/information/news/45023_23.03.2020/?top=7

СЕКЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЯЖУЩИХ ВЕЩЕСТВ И БЕТОНОВ

Студент 3 курса 32 группы ИСА Уйданов Е.А.

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. С.В.Самченко

Научный руководитель – канд. техн. наук, доц. О.А. Ларсен

ПРИМЕНЕНИЕ ПАНЕЛЕЙ CLT В МНОГОЭТАЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Древесина – это уникальный возобновляемый конструкционный материал, который начал применяться в строительстве тысячи лет назад. В наше время тенденция на «экологическое строительство» возобновляет деревянное строительство на совершенно новом уровне. Перекрёстно склеенные деревянные панели (CLT) – это будущее современного экологического строительства. В Швейцарии в девяностых годах двадцатого века впервые было применено строительство по этой технологии. Перед изобретением технологии CLT панелей в мире строительства из дерева велось: 80% - в деревянном каркасе, 10% - в массивных самонесущих, по типу лафет, брус, бревно и 10% - в комбинированных (совмещённых) вариантах.

Панели CLT – это строительный материал из перекрестносклеенной древесины. Расшифровывается CLT – Cross Laminated Timber (англ.), что в переводе дословно на русский язык переводится как «панели переклеенные крест-накрест». Сырьём служит деревянная доска, а именно хвойные и лиственные породы, которые использовались человеком на этапе всего его существования. Древесину, которая сушится в камере до 12 процентов влажности, укладывают слоями перпендикулярно друг другу и склеивают в цельный массив под давлением. Сама фанера производится из шпона (тонких слоёв древесины), а панели CLT из ламелей с прямоугольным поперечным сечением. Панели сращивают на зубчатый шип для получения заданной длины. Далее следует шлифовка панели для того, чтобы получилась идеально гладкая поверхность.



Рисунок 1. Панель CLT

Именно перекрёстное склеивание древесных слоёв показало себя на новом уровне с большими преимуществами, по сравнению с

устоявшимися строительными материалами. Габариты панелей не превышают 24 метров длины, 3,5 метров ширины и толщины 300-400 мм. (см. Рисунок 1)

В строительстве CLT панели доставляют на участок и собирают наподобие конструктора для детей. Строителям предоставляется план дома, по которому они устанавливают панели и производят их монтаж. Например, двухэтажный дом строители собирают за 8 часов, а после сбора дома можно сразу приступить к внутренней и внешней отделке. В таких домах стены не нужно штукатурить, так как уже на производстве при механической обработке они получаются идеально ровными. Все трассы для коммуникаций подготовлены ещё на производстве: места для окон, щитков и т.д.

Главными плюсами домов из CLT панелей являются: состав из натуральной древесины, стены не продуваются ветром, конструкция весит в 6 раз меньше, чем такое же здание из бетона; без подготовительных работ можно применять любые декоративные материалы; возможность возводить большепролетные здания (стадионы, больницы, многоэтажные дома); высокая пожароустойчивость (при обработке антипиренами); панели не дают усадку; в интерьере и экстерьере возможен любой архитектурный стиль; низкая теплопроводность; высокий показатель теплоёмкости; показатель теплоизоляции в 3-5 раз выше, чем у здания из бетона или кирпича; высокое шумопоглощение; пространство комнат увеличивается до 10% из за того, что стены тоньше на 30% по сравнению с бетоном.

К ключевым недостаткам же можно отнести высокую стоимость панелей, возможное создание дополнительного утеплительного слоя, если сооружение возводится в холодном климате, а также долговечность постройки. Необходимость применения средств защиты для повышения огнестойкости (антипиренами) и биостойкости. Габариты панелей CLT достаточно большие, поэтому требуют специального транспорта для перевозки, а это усложняет логистические затраты, тем самым повышая стоимость экспорта.

Новая технология панельного дома потрясла мир. За границей она всё чаще начинает применяться, так как эта технология не нуждается в железном каркасе или в бетоне. В Мельбурне, к примеру, построили 10-ти этажный дом высотой 32 метра. Ранее в Лондоне было возведено жилое здание из 9 этажей высотой 30 метров. Уже разработан проект по строительству 33-х этажного небоскрёба, который построят в Стокгольме (Швеция) из панелей CLT, а в Чикаго (США) уже планируется возведение 44-х этажного небоскрёба.

В прочности домов из CLT панелей не стоит сомневаться, так как в этой технологии строительства просчитано всё до мелочей. Здание из 7

этажей, построенное в Японии, было протестировано на специальном сейсмологическом оборудовании, которое является крупнейшим в мире, и оно выдержало целых 14 последовательных толчков магнитудой 7-8 баллов с минимальными повреждениями.



а)



б)

а) 10-ти этажный дом в Мельбурне (Австралия)

б) 9-ти этажный дом в Лондоне (Англия)

Дома из CLT панелей признаны очень устойчивыми и прочными, хотя они весят намного меньше железобетонных зданий и в разы теплее. CLT панели понравились и американской армии. В настоящее время они строят из них свои казармы и корпуса. Кроме того, CLT панели хорошо себя показали в странах с очень влажным климатом, поэтому они все активнее используются в Азии.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Сайт FORUMHOUSE [Электронный ресурс]. - Строительство из CLT панелей: достоинства и недостатки. Режим доступа: <https://www.forumhouse.ru/journal/articles/9203-stroitelstvo-iz-clt-panelei-dostoinstva-i-nedostatki>, свободный.

2. Сайт RMNT.RU [Электронный ресурс]. - CLT панели для строительства дома: особенности, плюсы, минусы. Режим доступа: <https://www.rmnt.ru/story/wall/clt-paneli-dlja-stroitelstva-doma-osobennosti-pljusy-minusy.1757727/>, свободный.

3. Сайт СТРОЙМАТИК [Электронный ресурс]. - CLT панели. Плюсы и минусы технологии. Режим доступа: <https://www.youtube.com/watch?v=DrH-ROEcQ4w>, свободный.

4. Сайт НОВАЯ ЭПОХА ДЕРЕВЯННОГО СТРОИТЕЛЬСТВА [Электронный ресурс]. - 10-ти этажный деревянный жилой комплекс «Форте» в Мельбурне. Режим доступа: <http://crosslam.ru/10-etazhnyy-derevyannyj-zhiloy-kompleks-forte-v-melburne>, свободный.

5. Сайт Яндекс.Дзен [Электронный ресурс]. - Возведение домов из CLT панелей: прогрессивная технология строительства. Режим доступа: https://zen.yandex.ru/media/str_rus/vozvedenie-domov-iz-clt-panelei-progressivnaia-tehnologija-stroitelstva-5e7816c87e25d84126738e2a, свободный.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУЦЦОЛАНОВЫХ СВОЙСТВ АКТИВНЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ДОБАВОК РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Большая часть производимого бетона на основе цементного вяжущего сегодня – это обычный бетон с достаточно низкими показателями коррозионной стойкости. Также существенным недостатком цементной смеси для бетонов является большое количество выделяющегося тепла при гидратации вяжущего, что также может неблагоприятно сказаться при возведении массивных объектов строительства. Все эти недостатки возможно урегулировать при помощи добавок, имеющих пуццолановые свойства [1, 2]. Пуццолановый цемент (ЦЕМ IV) и сульфатостойкий портландцемент с минеральными добавками (ЦЕМ II/A CC) — это специфические гидравлические вяжущие, производимые путем смешивания цемента с минеральными добавками, отличающихся пуццолановой активностью. В данном исследовании исследовалась пуццолановая активность двух минеральных добавок на основе метаколина и доменного шлака путем определения их активности [3, 4]. (рис. 1) Значение активности добавок, является необходимым для объяснения пуццолановых свойств цементных вяжущих. Водостойкость, коррозионная стойкость, усадка, тепловыделение при гидратации вяжущего и прочность бетонного изделия, могут зависеть от активности минеральных добавок [5].



Рис. 1. Добавки, используемые при исследовании

Для полной характеристики активности этих добавок одновременно фиксировали максимальную величину степени увеличения осадка также за 30 суток (рис. 1 и 2).

Оценка активности минеральных добавок определяется по степени набухания и по их способности поглощать известь из ее водного раствора.

Активность исследуемых добавок выражается в количестве мг поглощенного CaO из водного раствора извести, поглощенным

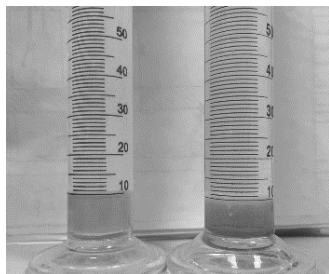


Рис. 2

Изменение объема осадка с течением времени

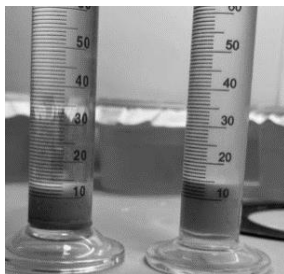


Рис. 3

Методика проведения испытания заключается в следующем. Предварительно высушенные при 105°C - 110°C навески добавок массой по 2 г измельчают в агатовой ступке до прохождения через сито №008.

Испытания проводились в градуированных стеклянных цилиндрах ёмкостью 100 см^3 с плотно притёртыми резиновыми пробками. Проведение опыта заключалось в следующем: в предварительно осушенный чистый цилиндр помещалась взвешенная на аналитических весах навеска добавки в количестве 1 г, после чего заливалась водным раствором извести до отметки 100 см^3 . Далее цилиндр подвергали интенсивному взбалтыванию в течении 1 минуты, затем полученная суспензия оставлялась в покое до следующего дня, после чего производилось повторное взбалтывание.

Через каждые двое суток от начала опытов в цилиндрах отмечался объем осадка добавки, затем из цилиндров отбиралось пипеткой 50 см^3 раствора и титровалось раствором соляной кислоты в присутствии метилоранжа. После этого цилиндры доливались свежими растворами $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в количестве 50 см^3 , взбалтывались и опять оставлялись для отстаивания [2-5]. Количество поглощенной извести добавкой вычислялось по разности между первоначальной концентрацией залитого в цилиндр раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и определенной через двое суток путем титрования раствором соляной кислоты. Для проведения исследований использовали раствор гидрата оксида кальция, содержащий 1,4 г в пересчете на CaO в 1 л. (табл. 2).

Таблица 2 Активность исследованных добавок

Наименование материала	Число поглощенного CaO мг на 1 г добавки	Объем осадка
Добавка 1	280,13	20
Добавка 2	226,05	17

Активные минеральные добавки в своем составе содержат реакционноспособный диоксид кремния SiO_2 . Реакция взаимодействия

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ и SiO_2 будет выглядеть следующим образом: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{SiO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow n\text{CaSiO}_2 + m\text{H}_2\text{O}$.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ взаимодействует с активным SiO_2 с образованием геля гидросиликата кальция ($n\text{CaSiO}_2$). Из уравнения видно, что чем активнее $\text{Ca}(\text{OH})_2$ взаимодействует с SiO_2 , тем сильнее будет заметна величина набухания добавки в растворе гидрата окиси кальция. Следовательно его образование может зависеть как от концентрации раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ так и от степени активности самих добавок.

В результате испытаний было установлено, что сумма миллиграмм поглощенного CaO добавкой 1 составляет: 281,13 мг, а добавкой 2 – 226,05 мг. Объем образовавшегося осадка добавки 1 и добавки два составляет: 20 и 17 мл. соответственно.

Высокое значение мг поглощенного CaO из известкового раствора говорит о том, что добавки являются активными, и могут использоваться при производстве пуццоланового цемента (ЦЕМ IV) и сульфатостойкого портланд цемента с минеральными добавками (ЦЕМ II/A CC). Это дает основание предполагать, что путем специального подбора пуццолановых добавок можно значительно улучшить свойства цементов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бутт Ю.М., Тимашев В.В. Практикум по химической технологии вяжущих материалов. – М.: Высшая школа, 1973. - 268 с.
2. Устабас И., Кая А. Конструкционные и строительные материалы» – Международный журнал, посвященный исследованию и инновационному использованию материалов в строительстве и ремонте – 2017. 465 с.
3. Ларсен О. А., Александрова О. В., Наруть В. В., Полозов А. А., Бахрах А. М. Исследование свойств активных минеральных добавок для применения в гидротехническом строительстве. Вестник БГТУ. 2020. №8. С. 8-17
4. Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В. Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона // Строительство и реконструкция. 2020. No2 (88). С. 61-66.
5. В.В. Наруть, О.А. Ларсен О.А. Оптимизация состава самоуплотняющегося бетона на основе бетонного лома для полов промышленных зданий // Бюллетень строительной техники. 2020. №3. С. 56-58.

ТЕХНОЛОГИЯ КРУПНОМАСШТАБНОЙ 3D-ПЕЧАТИ БЕТОНА

Технология трёхмерной печати бетона – новый метод осуществления строительства. Суть этой технологии в возведении строительных конструкций с помощью последовательного наслаивания бетонной смеси 3D-принтером, управляемого компьютером (Рис 1) [1].

Из главных преимуществ 3D-строительства хочется выделить:

1. **Скорость.** К примеру, дом площадью от 50 до 85 квадратных метров можно напечатать всего за 24 часа.
2. **Экономия на ресурсах.** Материал для производства расходуется полностью и потребность в утилизации отходов отсутствует.
3. **Уникальный дизайн и сложная форма.** Технология даёт возможность печатать конструкции очень сложной формы.
4. **Сохраняется экология.** В процессе производства нет загрязнения окружающей среды строительной пылью и отходами.

Принцип работы строительных 3D-принтеров

Уникальность строительных 3D-технологий в том, что печать осуществляется за счёт экструзии бетонной смеси по заданной трёхмерной компьютерной модели. Роботизированная строительная «рука» перемещается в пределах возводимого сооружения. Сначала смесь поступает в бункер принтера, а далее в головку и выходит через форсунку. Состав соединяет в себе наполнитель, пластификатор, цемент и другие добавки. Бетон для 3D-принтера должен обладать следующими основными характеристиками — это способность быстро схватываться, набирать необходимую прочность и обладать требуемой пластичностью. Главным материалом для печати домов является мелкозернистая смесь. В каждой компании разрабатывается свой уникальный состав смеси, который должен соответствовать устройству принтера. Получаемый бетон не должен растекаться, обязан иметь высокую скорость схватывания, слои равномерно укладывать, но если процесс будет протекать очень быстро, накладываемые слои потеряют сцепление. Для того чтобы добавить ему прочности, стены постройки армируют. С этой целью в смесь добавляют фиброволокно или кладут в стены стекловолоконную арматуру. Площадка для 3D-строительства должна быть безусловно ровной, чтобы параллельно расположить направляющие рельсы [2].

Виды 3D-принтеров

Различают четыре вида строительных 3D-принтеров:

1. Портальные 3D-принтеры. Они представляют из себя устройство, состоящие из трёх порталов, рамы и головки для печати. Принтер делает возможным осуществление поэлементной и цельной печати. Главное условие – объект должен помещаться под сводом принтера.

2. Устройство вида «дельта» не зависит от трехмерных направляющих и даёт возможность осуществлять печать гораздо трудных фигур.

3. Принтер, работа которого роботизирована — представляет собой робота или группу роботов, обустроенных экструдерами и управляемых компьютером.

4. Оборудование D-Shape – осуществляет печатать наслоением порошкового материала с последующим сцеплением его при помощи клеящего раствора.

Достоинства и недостатки

Достоинства [3]

Гораздо проще и дешевле возводить постройки с оригинальным дизайном при помощи 3D-технологии, чем традиционным способом.

1. 3D-принтер способен произвести материал практически любой формы.

2. Установка способствует быстрой и точной работе.

3. Процесс автоматизирован и необходимости в человеческом труде почти нет. Система полностью безопасна как для людей, так и для окружающей среды.

4. Печать не оставляет отходов.

Недостатки

1. Автоматизированная система лишает строителей работы.

2. Строители, которые всё-таки примут участие в производстве, должны приобрести новые навыки и повысить квалификацию.

3. Производство деталей для печати объекта необходимо выполнять только профессионалам, которых сейчас чрезвычайно мало.

4. Соединение готовых компонентов на объекте может получиться таким же продолжительным, как и традиционное строительство.

5. На сегодняшний день законодательство недостаточно совершенно для того, чтобы поставить 3D-технологию на поток.

Данная технология будет применяться в основном для возведения сооружений хозяйственного назначения, дачных домов, маломерных мостов, беседок, элементов ландшафтного дизайна и гаражей в силу лишения законодательства, которое бы дало право 3D-строительству занять своё место в поточной застройке. 3D-технология значительно поможет в решении проблем перенаселения, нехватки жилья и доступных ресурсов [4, 5].



Рис 3. Технология 3D-печати

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. habr.com [Электронный ресурс]. – Строительные 3D-принтеры и наш опыт работы с ними, 2016. – Режим доступа : <https://habr.com/ru/company/top3dshop/blog/369867>.
2. top3dshop.ru [Электронный ресурс]. – 3D-печать в строительстве: как это работает, технологии и 3D-принтеры, 2019. – Режим доступа : <https://top3dshop.ru/blog/3d-printing-of-buildings-technologies-and-3d-printers.html>.
3. 3D-печать в строительстве: состояние и перспективы / Л.В. Закревская, О.Е. Закревский, П.А. Любин, И.В. Козлов. - Текст: непосредственный // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века : Научно-технический и производственный журнал / Л.В. Закревская – 2017. - № 7/8. – С. 35-38.
4. motocarrello.ru [Электронный ресурс]. – 3D принтер строительный: обзор популярных моделей, достоинства и цена, 2017. – Режим доступа : <https://motocarrello.ru/jelektrotehnologii/1608-3d-printer-stroitelnyi.html>.
5. housechief.ru [Электронный ресурс]. – От фантастики к реальности: применение 3D-принтера в строительстве домов, 2016. – Режим доступа : <https://housechief.ru/primenenie-3d-printera-v-stroitelstve.html>.

ОСОБЕННОСТИ МЕЛКОЗЕРНИСТЫХ БЕТОНОВ ДЛЯ МАЛЫХ АРХИТЕКТУРНЫХ ФОРМ

Малые архитектурные формы (далее – МАФ) формируют предметно-пространственную среду города, вносят в нее стилиевой характер. Являясь памятниками архитектуры и объектами ландшафтной архитектуры благоустройства (рис.1, 2), МАФ могут подчеркивать существующую среду города, а также нести свой собственный, аутентичный смысл, формируемый взаимодействием окружающей архитектуры, самих МАФ, а также исторических событий, связанных с местом их дислокации. Использование объектов малой архитектуры подчиняется одной общей идее и стилистическому замыслу и соответствует своему назначению для оформления и формирования сети улиц, магистралей, рекреационных и дворовых территорий, чтобы продемонстрировать уникальность природных условий, национального колорита, аутентичность города и образ мысли граждан его населяющих [1].



Рис.1. Бегемоты на газоне



Рис.2. Вазоны

МАФ из мелкозернистых бетонов (далее – МЗБ) являются прогрессивным решением вопроса об изготовлении изделий, т.к. МЗБ позволяют добиться требуемой формы практически любой сложности и любых геометрических характеристик и при этом, с экономической точки зрения, являются куда более выгодным материалом для производства подобных изделий, по сравнению с горными породами.

МЗБ, будучи представленным без привязки к конкретному изделию, уже имеет существенные отличия от бетонов на крупных заполнителях. В качестве главных его особенностей можно выделить существенно более высокий расход цемента – порядка 20%, меньший модуль упругости – порядка 15%, а в отдельных случаях и 20%, а также повышенные усадка и ползучесть. В то же время МЗБ имеет куда большую удобоукладываемость, что позволяет добиваться тех

формовочных результатов, которые априорно невозможны при использовании бетонов на крупных заполнителях.

В нынешнее прогрессивное время бетоны претерпели значительные изменения в части своего состава и если раньше количество компонентов вполне могло ограничиться тремя, то ныне даже количество модифицирующих компонентов равное шести не вызывает удивления. При таком подходе остро встают как минимум два вопроса:

- 1) Совместимость компонентов смеси;
- 2) Оптимальный способ приготовления смеси.

Одной из главных особенностей изделий из МЗБ для МАФ является способ уплотнения смеси. К изделиям МАФ предъявляются особые требования по качеству поверхности, которые могут быть достигнуты только за счет виброролитьевой технологии. На качество поверхности также влияют опалубка, смазки для нее, а также количество вводимых воздухововлекающих добавок.

МАФ, в силу своих функциональных особенностей, отличаются требованиями к эксплуатационным характеристикам. Т.к. их назначение нацелено на нахождение в открытых пространствах, то и воздействия среды будут отличаться широким спектром. К этим воздействиям можно отнести: попеременное намокание/ высушивание, замораживание/ оттаивание (в том числе и в водонасыщенном состоянии), воздействие ультрафиолета, мелких твердых частиц в воздухе, оказывающих абразивное воздействие на изделие. Во многом именно требования к эксплуатационным характеристикам определяют насыщенность МЗБ для МАФ разнообразными модифицирующими компонентами. Также изделия МАФ должны иметь высокую устойчивость к образованию трещин и их распространению в теле бетона. Наибольшее влияние на образование трещин оказывают химическая контракция, влажностная усадка, а также уже упомянутый процесс попеременного замораживания и оттаивания изделия в водонасыщенном состоянии. Как было сказано выше, в МЗБ имеет место повышенный расход цемента, а в МЗБ для МАФ в принципе отсутствует крупный заполнитель, который формирует жесткий скелет изделия – совокупность этих факторов приводит к повышению влияния усадки на бетон, следствием чего является активное образование трещин.

Какими бы важными ни были эксплуатационные характеристики МЗБ для МАФ, определяющими все нюансы производства являются именно декоративные особенности МАФ.

К подобным изделиям предъявляются повышенные требования к качеству поверхности, а именно А1 [2]. Изделия такого качества поверхности не могут быть получены при использовании любой

технологии уплотнения, кроме вибролитья, а также при использовании любого вида опалубки, у которой нет глянцевої поверхности. Также и тип смазки для опалубки имеет большое значение – для изделий МАФ могут использоваться исключительно реактивные (химически-активные) смазки, т.к. смазки барьерного типа могут приводить к появлению пятен на поверхности изделий.

Весьма важна и стойкость изделий к абразивному износу, т.к. в воздухе (особенно в густонаселенных городских пространствах) может находиться большое количество твердых частиц, оказывающих истирающее воздействие на изделие МАФ.

Также и окраска изделия оказывает большое влияние на качество поверхности изделий. Способов окрашивания изделий МАФ два – окрашивание поверхности готового изделия и введение пигментов в смесь. Долговечность окраски может обеспечиваться только при окрашивании вторым способом, т.к. такой способ предполагает объемное окрашивание изделия и, при грамотном технологическом подходе, ее однородность по всему объему изделия, даже после истирания [3-5]. Однако, в связи с потенциально большим количеством модифицирующих компонентов, вопрос совместимости касается и вводимых в смесь пигментов. Для достоверного определения совместимости необходимо знать точный химический состав всех компонентов смеси, что в условиях производства практически не представляется возможным и поэтому этот вопрос зачастую может быть решен только опытным путем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ярыгин З.Л.* Эстетика города. / З.Л. Ярыгин. – М.: Стройиздат, 1991. – 336 с.
2. ГОСТ 13015-2012. Межгосударственный стандарт. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приемки, маркировки, транспортирования и хранения.
3. *Мудров А.Г.* Способ и устройство приготовления цветного бетона. Известия КГАСУ, 2016, № 4 (38). С. 444-450.
4. *Баженов Ю.М.* Технология бетона / Ю.М. Баженов. – М.: АСВ, 2003. – 500 с.
5. *Харченко А.И., Алексеев В.А., Харченко И.Я., Баженов Д.А.* Структура и свойства мелкозернистых бетонов на основе композиционных вяжущих// Вестник МГСУ. 2019. Т.14. № 3 (126). С. 322-331.

Студент 3 курса 32 группы ИСА Раббаа И.О.

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. С.В.Самченко

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. О.А. Ларсен

ПОВЫШЕНИЕ ВОДОСТОЙКОСТИ МАГНЕЗИАЛЬНЫХ ВЯЖУЩИХ ВВЕДЕНИЕМ В НИХ ДОБАВОК

В сфере строительства помимо портландцемента, у которого достаточно высокие затраты на производство, существует необходимость использования других разновидностей вяжущих. К таким можно отнести магниезиальные вяжущие вещества, которые можно получить при переработке местного сырья для их производства или же из техногенных отходов с высоким содержанием магния. Их получают путём обжига природного магнезита или доломита с целью полного термического разложения карбоната магния, после чего продукт обжига подвергается помолу. К таким вяжущим относится каустический магнезит и каустический доломит.

Тесто на основе магниезиальных вяжущих имеет нейтральную среду, а также он хорошо сцепляется с заполнителями органического происхождения. Благодаря таким свойствам, их используют для изготовления теплоизоляции стен зданий и покрытий (фибролит) (рис.1), устройства бесшовных полов (ксилолит) и многих других материалов [1].

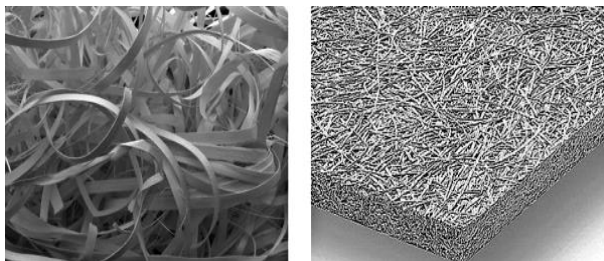


Рис.1.Древесная шерсть и фибролит на ее основе

Однако магниезиальные вяжущие имеют существенный недостаток – они являются неводостойкими. Они используются только в условиях их твердения на воздухе с относительной влажностью, которая не превышает 60%. Из-за этого при их производстве необходимо использование различных затворителей и добавок, повышающие водостойкость изделий из него, что благоприятно скажется на их прочностные свойства [2].

Исследование этой работы заключается в рассмотрении затворителей и их влияние на полученное вяжущее, добавок и других способов повышения водостойкости при производстве магниезиальных вяжущих, а

также определения условий для их оптимального использования. Их применение может значительно повышать сопротивляемость попаданию влаги в изделия, что даст возможность увеличить число материалов для строительства, а также изделий, приготовленных на таком вяжущем.

Из литературы, а также информации по применению магнезиальных вяжущих были найдены факторы, которые являются причиной низкой водостойкости таких изделий. В ходе исследования было установлено, что основными причинами являются их высокая гигроскопичность и значительная растворимость оксихлорида и гидроксихлорида магнезия [3, 4].

Были рассмотрены некоторые методы для повышения водостойкости таких изделий. Удалось выделить основные способы, к которым относятся применение химически активных веществ, способствующих образованию малорастворимых соединений, использование добавок, снижающие отношение жидко-твёрдой фазы, формирующие плотную структуру и повышающие твёрдость изделий, а также применение различных обмазок или добавок, образующие гидрофобную поверхность на изделии.

Были проанализированы особенности, протекающие при декарбонизации каустического магнезита и каустического доломита, способы их гидратации различными растворами, а также влияние различных добавок на водостойкость изделий на полученном вяжущем [5, 6].

Среди всех рассмотренных способов повышения водостойкости были выделены следующие:

- *природные тонкодисперсные добавки* (доменный гранулированный шлак, зола, вермикулит, серпентинит, талькомагнезитовые руды и др.);
- *модифицирующие добавки* (активная минеральная добавка (микрокремнезём) в количестве от 6 до 11%, добавка-крент (тальк) — от 4 до 10% и т.д.; затворитель с плотностью не менее 1,24 г/см³);
- *сернокислое железо $FeSO_4 \cdot 7H_2O$* (уменьшает сроки схватывания цемента, а также снижает вероятность появления высолов на изделиях, приготовленных на таком вяжущем);
- *гидрофобизирующие добавки* (пропитка готовых изделий воском, полимерами и т.д.);
- *обработка MgO фосфорной кислотой* (понижает pH смеси, приводящей к недостатку групп OH).

В результате исследования были изложены основные пути повышения водостойкости изделий на магнезиальных вяжущих

веществах, проанализирован механизм их действия, а также была дана оценка эффективности их использования.

В ходе исследования способов по повышению водостойкости магнезиальных вяжущих веществ каждый из них удалось отнести к определённой группе в зависимости от их эффективности. Все эти способы были разделены на те, которые имеют высокую эффективность (фосфатные добавки, применение смешанных цементов др.), оказывают среднее влияние при их применении (природные тонкодисперсные добавки, пропитка воском или полимерными соединениями и др.) и оказывающие достаточную эффективность, чтобы ими можно было воспользоваться (карбонатные соединения, высокомолекулярные ПАВ и некоторые спирты).

Такие материалы имеют широкие возможности для их применения в малоэтажном строительстве, поскольку затраты на производство вяжущего относительно небольшие, а также такие изделия будут иметь хорошие тепло- и звукоизоляционные свойства, что является достаточно ценным показателем для их применения. По этой причине рассмотренные способы по повышению водостойкости помогут увеличить ассортимент изготавливаемых изделий и расширить область его использования в строительстве, а также снизит расходы и объёмы производства на вяжущие компоненты, такие как портландцемент.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крамар Л.Я., Теоретические основы и технология магнезиальных вяжущих и материалов // Вестник Южно-Уральского государственного университета – 2007. Т. 3. С. 16-18.

2. Кузнецов, А.М., Производство каустического магнезита / А.М. Кузнецов. – М.: 1948. – 210 с.

3. Ларсен О.А., Гальцева Н.А., Александрова О.В., Соловьев В.Г., Вяжущие вещества [Электронный ресурс]: учебное пособие. М.: Изд-во Моск. гос. строит. ун-та, 2018. С. 26-28.

4. Акчурин Т.К., Ананьина С.А., Технология получения магнезиальных вяжущих из хлормagneзиевого сырья.: Строительные материалы, 1997, № 8. С.25.

5. Ведь Е.И., Бочаров В.К., Повышение водостойкости магнезиального цемента/Е.И. Ведь, В.К. Бочаров. Вестник ХПИ. Технология неорганических веществ. №40(88).вып.3. Харьков.1970. - С.35-37.

6. Шиманская М.С., Получение водостойких магнезиальных вяжущих / Шиманская М.С., Бушуева Н.П., Назарова В.В., Вдовина Н.С. // Вестник БГТУ 2005. - N 10.1. С. 325-32

ТРЕБОВАНИЯ, ПРЕДЪЯВЛЯЕМЫЕ К БЕТОННОЙ СМЕСИ ДЛЯ ВЕДЕНИЯ РАБОТ В УСЛОВИЯХ ЗАПОЛЯРЬЯ

На крайнем Севере строительные работы ведутся в суровых условиях при отрицательных температурах окружающей среды. Для Заполярья характерен очень низкий температурный режим от -35°C до -70°C в некоторых районах. Как известно, начиная уже с 0°C в бетоне замедляется процесс гидратации цемента, т.е. увеличиваются срок набора прочности и сроки схватывания, а при таких экстремально низких температурах процессы и вовсе останавливаются. Основной причиной возникающих проблем бетонирования в зимний период и тем более в суровых условиях Заполярья является концентрация высоких напряжений вокруг капиллярных пор бетона под влиянием отрицательных температур за счёт расширения замёрзшей воды, что в дальнейшем приводит к возникновению внутренних трещин, а значит значительному ухудшению прочностных характеристик бетона [1].

Таким образом, для проведения работ в северном строительноклиматическом районе требуется использование бетонов с улучшенными характеристиками, такими как: класс прочности не ниже В35, повышенная морозостойкость (F150-400 и выше) и необходимые показатели водонепроницаемости (W6-10). Требования к бетону предъявляются согласно ГОСТ 26633-2015 «Бетоны тяжёлые и мелкозернистые. Технические условия» и СП 52-105-2009 «Железобетонные конструкции в холодном климате и на вечномёрзлых грунтах». Для соответствия требованиям по морозостойкости и водонепроницаемости для бетонов правильно подбираются компоненты бетонной смеси (плотные заполнители, специальные цементы) и вводятся химические добавки для модификации свойств.

Заданным характеристикам соответствуют тяжёлые и особо тяжёлые бетоны, обладающие высокой плотностью 2000-2500 и выше $\text{кг}/\text{м}^3$, следовательно малым содержанием макропор, в которых может содержаться свободная вода, влияющая на дальнейшую прочность бетонного камня в условиях низкого температурного режима работы. Однако, при ведении работ в экстремально низких температурах, помимо высокой плотности, особо важно значение водоцементного отношения, т.е. непосредственно содержания воды в смеси. Если для обыкновенных тяжёлых бетонов, эксплуатируемых в средней полосе России, нормируемым значением считается 0,5-0,7, то В/Ц для повышенной морозостойкости не превышает 0,45 - для классов В35-В45

и 0,4 - для В50-В60, что объясняет плотную структуру и пониженную пористость готового продукта.

Однако, для получения изделия с заданными характеристиками необходимо соблюдать требования, предъявляемые к составу бетонной смеси. Основопологающими характеристиками такого рода являются: удобоукладываемость, средняя плотность, расслаиваемость, пористость и объём вовлечённого воздуха. Для получения необходимых показателей средней плотности (свыше 2000 кг/м³), а значит и повышенной морозостойкости регламентируется использование крупных заполнителей из плотных изверженных и метаморфических пород с водопоглощением не более 1,0%, из осадочных пород - с водопоглощением не более 2,5% по ГОСТ 26633-2015. В качестве вяжущих веществ регламентируется использование портландцемента, с содержанием С₃А не превышающим 8%, а содержание С₂S не превышает 55%, или же сульфатостойкого портландцемента по ГОСТ 26633-2015.

Отдельное внимание следует уделить добавкам, которые способствуют улучшению сразу нескольких характеристик бетонной смеси. Для повышения удобоукладываемости смеси и регулирования расслаиваемости, в связи с низким В/Ц, в смесь вводятся добавки, способствующие созданию конструкций повышенной прочности, морозостойкости и водонепроницаемости, т.е. стойких к воздействию агрессивных условий. Таким образом, применяются два вида добавок: пластифицирующие, для, непосредственно, увеличения плотности бетонной смеси и понижению В/Ц, и воздухововлекающие, для создания дополнительных воздушных пор [2].

Применение пластифицирующих добавок способствует водоредуцированию бетонной смеси и повышению её подвижности, а значит увеличению таких характеристик бетонной смеси, как средняя плотность, удобоукладываемость и стойкость готовой конструкции. По степени пластификации различают пластифицирующие и суперпластифицирующие добавки. Пластификаторы воздействуют на смесь в качестве поверхностно-активных веществ (ПАВ), т.е. молекулы суперпластификатора адсорбируются на частичках цемента и выполняют роль смазки, в следствие чего смесь получает необходимую подвижность, замедляется её схватывание и твердение. Широко распространено применение пластификаторов на основе поликарбоксилатов, в отечественном производстве распространены в качестве основы нафталин и меламина [1,3,5].

Необходимые значения воздухововлечения для бетонных смесей достигается при обязательном введении в них воздухововлекающих или пластифицирующе-воздухововлекающих добавок, или комплексных на

их основе с целью распределения нормируемого объема вовлеченного воздуха в виде замкнутых пузырьков мельчайших размеров. Действие воздухововлекающих добавок заключается в гидрофобизации пор бетонной смеси и образования резервного объема для расширения замёрзшей воды без критических внутренних напряжений, за счёт образования в смеси пузырьков воздуха. К добавкам относятся: смола нейтрализованная воздухововлекающая (СНВ), смола древесная омыленная (СДО), синтетическая поверхностно-активная добавка (СПД) [2]. Содержание вовлеченного воздуха в бетонной смеси должно быть порядка 4%.

Комплексные добавки, состоящие из пластификатора и воздухововлекающего или пластифицирующе-воздухововлекающего компонентов, способствуют повышению морозостойкости бетона и улучшению качества бетонной смеси, снижается расход цемента [1,2,4].

Очень широко применение комплексных добавок. Они включают в себя сразу несколько компонентов. Наиболее распространённым сочетанием считаются пластифицирующие компоненты диспергирующего действия и гидрофобизирующие воздухововлекающие компоненты, например, такие как СДБ (сульфатно-дрожжевая бражка)+СНВ [2-6]. Также применяются противоморозные добавки, которые способствуют нормальному твердению бетона в условиях сурового климатического режима работы. Это поташ, хлорид натрия, хлорид кальция и тд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Шулдяков К.В.* Тяжёлые бетоны, стойкие к циклическим воздействиям в суровых условиях эксплуатации: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05 / К.В. Шульдяков.– Челябинск, 2020. – 178 с.
2. *Баженов Ю.М.* Технология бетона. М.:Вышш. шк.,1987. - 415 с.
3. *Баженов, Ю.М. Демьянова В.С, Калашиников В.И.* Модифицированные высококачественные бетоны.– М.: АСВ, 2006. – 368 с.
4. *Ярмаковский В.Н., Кадиев Д.З.* Физико-химические основы стойкости бетонов к воздействию низких отрицательных температур // Строительство и реконструкция, 2020. №4 (90) С.122-136.
5. *Самченко С.В., Воронин В.В., Ларсен О.А., Наруть В.В.* Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2 (746). С. 71-78.

СПОСОБЫ ПРОИЗВОДСТВА ВАРИАТРОПНЫХ ЯЧЕЙСТЫХ БЕТОНОВ

Вариатропный ячеистый бетон - это легкий бетон, полученный по воздушно-пузырьковой технологии, плотность которого изменяется от центральной области к периферии, в связи с чем плотность в центре изделия ниже плотности его периферийных слоев. Этот тип бетона обладает более высокими прочностными, атмосферостойкими и изоляционными свойствами, по сравнению с пенобетоном и газобетоном. Улучшенные показатели морозостойкости изделий на основе ячеистых вариатропных бетонов достигается за счет образования более плотных и прочных внешних бетонных слоев с мелко пузырьковой замкнутой пористостью. [1,2]

При производстве ячеистых бетонов важной задачей является получение изделий со стабильными механическими и механическими свойствами и хорошей теплоизоляцией. Для достижения этой цели необходимы новые технологические приемы для создания изделий с переменной структурой. [3,4]



Рис.1. Существующие способы производства структурно-переменных ячеистых бетонов

В настоящее время существует несколько технологий производства переменного ячеистого бетона (рис. 1) [5].

В патенте RU 2243190, авторами Королев А.С. и Кузьменко С.А., разработан способ получения вариатропных ячеистых изделий по следующей методике: сначала пенобетонной смесью заливают форму на 55% высоты формы, затем залить форму пеной до конца и замесить пенобетонную смесь слоем толщиной около 40-50% от высоты формы. В результате получен пенобетон плотностью 500-600кг/м³ и прочностью на сжатие от 1,5-5 МПа. [1]

Недостатком этого метода является то, что заливка пенобетонной смеси в форму осуществляется в 2 этапа. Кроме того, процесс механического перемешивания приводит к увеличению водоцементного отношения, что снижает конечные свойства пенобетона.

Кроме того, существует еще один способ производства вариатропного ячеистого бетона, который заключается в послойные заливки ячеистобетонной смеси в разборную форму с съемными перегородками по интегральному принципу от мелких на периферии к крупным в середине блока с учетом реологических характеристик ячеистобетонных смесей и времени вспучивания. Перед заливкой пенобетонной смеси, полученной на основе не активированного сырья, поддон, борта и крышка формы выстилаются полиэтиленовой пленкой с большим коэффициентом перфорации формы. При необходимости заполняющая форма будет подвергаться вибрации для механического разрушения внутренней ячеистой структуры.

К недостаткам этого метода можно отнести: не очень качественную внешнюю поверхность изделий, большой расход перфорированной пленки. При использовании изделий, полученных этим способом, приводит к увеличению затрат на отделочные работы, что приводит к увеличению себестоимости строительства.

Однако все эти технологии не гарантируют удаления лишней воды из смеси при формировании внутренней структуры. Поэтому в данной работе предложена новая технология (одностадийный метод) способная решить проблему избыточной формовочной воды в пеногазобетонной смеси.

В разработанной технологии для получения вариатропных ячеистых бетонов использовалась пено-газотехнология, которая заключалась в получении образцов из формовочной смеси, состоящей из минерального вяжущего, мелкого заполнителя, пенообразователя, воды, газообразователя и регуляторов процессов газообразования. Технология получения образцов заключалась в следующем: формовочная смесь (состоящая из вышеперечисленных компонентов) подвергалась смешению в быстроходном смесителе и загрузкой ее в форму с различным коэффициентом заполнения формы смесью (0,5...0,9).

Для получения образцов использовались формы в виде куба 100x100x100мм. с перфорированными стенками диаметр отверстия преформации $D=1,5$ мм, расстояние $a = 10$ мм. Кроме того, авторы использовали нетканый материал, чтобы проложить между стенками формы и изделием, чтобы предотвратить выделение цемента и мелких заполнителей через перфорацию. После чего форма закрывалась, где

происходило формирование ячеистой структуры образца в изобарно-изохорных условиях.

Для управления процессом вспенивания при получении газобетонов были проведены исследование влияния концентрации фторида натрия на процесс газообразования на модельной системе $[\text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{Al} \cdot \text{H}_2\text{O}]$, на концентрации $\text{NaF}:\text{Al}$ (1:1...1,4). В результате было установлено, что соотношение $\text{Al}:\text{NaF}$ равное 1:1 является оптимальным для ускорения процессов начала и окончания газообразования, а так же для увеличения скорости выделяемого водорода в исследуемой композиции с целью получения на ее основе вариатропной структуры ячеистых бетонов.

Формирование вариатропной части структуры бетона протекает в изобарно-изохорных условиях. В начальном периоде при неполном заполнении формы подвспененной формовочной смесью происходит дополнительное увеличение ее объема за счет выделения водорода – продукта взаимодействия алюминиевой пудры и цемента в присутствии регулятора газообразования – фтористого натрия. До момента полного заполнения объема формы процесс образования ячеистой структуры бетона протекает в изобарном режиме. При этом через отверстия в стенках формы последовательно удаляются газовая - жидкая фаза с дальнейшей кальмотацией мелким заполнителем отверстий перфорации в стенках формы. Что приводит к повышению давления внутри системы и к уплотнению внешних слоев образца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

Королев А.С., Волошин Е.А., Трофимов Б.Я., Шаимов М.Х., Кузьменко С.А. Способ изготовления вариатропных ячеистобетонных изделий. Патент RU 2243190 С1. 27.12.2004. 5с.

Большаков В. И., Мартыненко В. А. Вариатропный ячеистый бетон // Строительные материалы и изделия. 2002. №9. 3с.

Miryuk O. Formation of structure magnesium foamed concrete // International Journal of Civil Engineering. 2017. Vol. 6, Issue 2, Pp. 1-10.

Большаков В.И., Мартыненко В.А. Технологические аспекты производства мелкоштучных ячеистобетонных изделий из ячеистого бетона неавтоклавного твердения. Киев.: НИИСМИ. Строительные материалы и изделия. 2002. С. 13- 15.

Шорстов Р.А., Сулейманова Л.А., Кара К.А. Технологии получения многослойных конструкций вариатропной структуры // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2019. № 4. С. 32–39.

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕНОСТЕКЛЯНОГО ЩЕБНЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Пеностекло – ячеистый теплоизоляционный материал из силикатного стекла и газообразующего сырья, проходящий термическую обработку при очень высокой температуре, порядка 1000°C. В процессе производства происходит вспенивание массы и увеличение объема смешанных компонентов (в 15 раз) под действием газообразователя. Сырьевой смеси, которую мы получили, придаём форму и понижаем температуру без принудительного охлаждения, из-за чего материал приобретает такие свойства, как долговечность и прочность. Материал имеет пористую структуру [1].

Классификация пеностекла

Материалы и изделия из пеностекла классифицируют в соответствии с ГОСТ 33676-2015 по признакам, представленным на Рис.1 [2]:

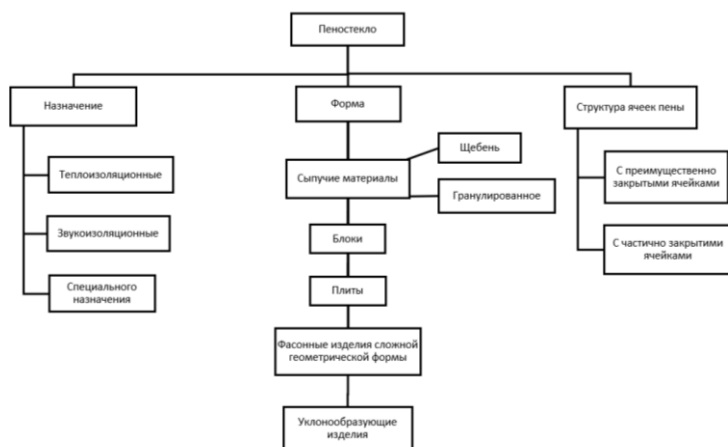


Рис. 1. Классификация пеностекла

Характеристики исходных компонентов для производства пеностекла

Исходными компонентами для нас служат отходы производства стекла, требования к которым представлены в ГОСТ 56617-2015, легко спекающиеся горные породы с повышенным содержанием щелочей (трахит, сиенит, нефелин, обсидиан, вулканический туф др.), бой

оконного стекла, газообразователем может служить антрацит, мрамор, известняк и кокс каменноугольный [3].

Достоинства и недостатки материала

Преимущества (Рис. 2) [4]:

- повышенные шумо- и теплоизоляционные свойства;
- универсальный (используется для теплоизоляции стен, фасадов, фундамента, кровли и полов);
- низкая степень чувствительности к температурным изменениям;
- продолжительный период работы (100 лет)
- экологичный;
- устойчив к эрозии и окислению;
- не восприимчив к огню;
- не поддаётся действию грибков и плесени;
- устойчив к химическим воздействиям;
- гигроскопичность и паронепроницаемость;
- защита формы в течение всего периода работы;
- повышенная прочность;
- лёгкость соединения.

Недостатки:

- цена (из-за трудоёмкости процесса изготовления);
- невысокая паропроводность;
- восприимчивость к динамическим воздействиям.
- материалу необходима дополнительной пароизоляции

Главной особенностью пеностекла является его универсальность. Его можно применить в решении многих задач, которые представлены в ГОСТ 33949-2016 и ГОСТ 33676-2015 [5]:

1) Строительство дорог. Материал исполняет сразу несколько ролей, составляет несущий выравнивающий и теплоизоляционный слой, используется в качестве дренажа, что способствует сокращению расходов на производство работ.

2) Шумо- и теплоизоляция множества элементов гражданских и промышленных зданий и сооружений.

3) Теплоизоляция грунта в теплицах и утепление полов.

4) Возведение спортивных сооружений.

5) Шумо- и теплоизоляция в сфере ЖКХ.

6) В роли наполнителя для легких бетонов.



Рис. 2. Свойства и преимущества пеностекла

Библиографический список

1. homius.ru [Электронный ресурс]. – Применение пеностекла в строительстве: особенности малоизвестного материала, 2016. – Режим доступа : <https://homius.ru/primenenie-penostekla-v-stroitelstve.html>.
2. Неорганические теплоизоляционные материалы / В.Г. Микельский, В.Н. Куприянов, Г.П. Сахаров, Г.И. Горчаков, Л.П. Ортентлихер, В.М. Хрулев, В.В. Козлов, Р.З. Рахимов. - Текст : непосредственный // Издательство Ассоциации строительных вузов : Учебное издание, 2011. – С. 404-405.
3. housechief.ru [Электронный ресурс]. – Пеностекло: что это такое и где применяется, 2019. – Режим доступа : <https://housechief.ru/penosteklo-v-stroitelstve-primenenie.html>.
4. greensector.ru [Электронный ресурс]. – Пеностекло: характеристики, применение, достоинства и недостатки утеплителя, 2015. – Режим доступа : <https://greensector.ru/strojjmaterialy/penosteklo-kharakteristiki-primenenie-dostoinstva-i-nedostatki-uteplitelya.html>
5. stroy-podskazka.ru [Электронный ресурс]. – Технические характеристики и описание пеностекла, 2014. – Режим доступа : <https://stroy-podskazka.ru/dom/uteplenie/penosteklo/>.

ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЙ МОНОЛИТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА

Монолитным строительством называют технологию возведения зданий и сооружений с помощью бетонной смеси, либо железобетонной конструкции. Данный вид строительства может воплощаться как в промышленном, гражданском строительстве, так и при реализации специализированных – уникальных проектов. Монолитное строительство является долговечным и надежным, имеет ряд преимуществ перед своими конкурентами. Метод экономичен и довольно хорошо подходит для самых разнообразных типов зданий и сооружений.

В связи с популярностью и большим спросом на монолитные конструкции их возведение территориально почти не ограничено на территории нашей страны.



Рис.1. Карта районов Крайнего Севера и территорий, приравненных к ним

Исходя из того, что довольно обширную часть Российской Федерации занимает территорий Крайнего севера (рис.1), характеризующиеся суровыми климатическими и инженерно-геологическими условиями, ее освоение имеет свои особенности. Климат данного региона России - резко континентальный: затяжные суровые зимы с устойчивым снежным покровом, осадками и ветром, температурный режим изменяется - 35 °С...-40 °С. Январь является самым холодным. Для весенне-осеннего периодов характерны сильные ветра и резкая смена погодных условий, летний период хоть и теплый, но очень короткий [1,2].

В современных реалиях возведение монолитных сооружений производится в независимости от времени года и климатических условий.

При возведении каких-либо зданий и сооружений на территориях Крайнего Севера используются различные технологии укладки

фундаментов, например, столбчатые и свайные, плитные и фундаменты на искусственных основаниях. Искусственные основания применяют при сохранении мерзлого состояния грунта [3].

Очень важную роль в монолитном строительстве играет укладка бетонной смеси, а в суровых условиях Крайнего Севера эта задача усложняется в разы. Так как возникает ряд проблем. Первой и основной проблемой является отрицательная температура, препятствующая ведению бетонных работ без какой-либо подготовки. Низкие температуры ведут к замедлению или не возможности протекания процессов гидратации из-за чего нет схватывания бетона, следственно не достигается полный набор прочности. Суровость погодных условий влияют на методы производства работ по утеплению и отопеву бетона перед, вовремя и после укладки смеси.

На данный момент в строительстве существует пять основных операций для проведения бетонирования при отрицательных температурах: метод «термоса», введение в состав бетонной смеси противоморозных добавок, различный прогрев конструкций в период формирования структуры (паропрогрев, электропрогрев электродами и с применением греющего провода) [2-5].

Рассмотрим каждую операцию подробнее: Метод «термоса» заключается в установке утепленной опалубки и контроле температуры как внутри заливаемого элемента конструкции, так и температуры окружающего воздуха. Температура в бетоне должна быть больше теплотеря при остывании опалубки до набора заданной прочности бетона. Данный метод обеспечивает равномерное и замедленное остывание бетонной смеси, препятствующие появлению дефектов на поверхности. Достоинством данной методики – низкая себестоимость и легкость технологического процесса, а недостатком - малая эффективность при особо низких температурах.

Использование химических добавок, в данном случае, комплекса противоморозных добавок имеет место быть при отрицательных температурах, так как процессы гидратации вяжущего, формирования структуры, твердения и др., не могут протекать в «замерзшей» воде.

Чтобы избежать этого в процессе приготовления в смесь вводятся такие добавки, как нитрит натрия, хлорид кальция, комплексное соединение нитрата кальция с мочевиной. Но при введение каких-либо химических добавок в состав бетонной смеси нужно учесть их воздействие на арматуру (каркас) конструкции, комплексное взаимодействие между собой и с вяжущим, дабы избежать возникновение коррозии закладных деталей и арматуры и сбой в процессах структурообразования.

Еще одним методом ведения бетонных работ при отрицательных температурах является «паропрогрев», где с помощью запуска пара в тепляки или тепловые рубашки создаются благоприятные тепловлажностные условия, при которых идет ускорение набора прочности в конструкции. Сам метод подразделяется на три стадии: разогрев «тепняка» до заданной температуры, изотермический прогрев и выдержка при заданной температуре, остывание.

Преимуществом методики считается обеспечение благоприятных условий набора прочности монолитной бетонной и железобетонной конструкции, в том числе фундаментов. Но у данной методики есть и недостатки: возможность неравномерность прогрева в толстостенных изделиях и сложность устройства так называемых «тепляков».

Что касается методов электропрогрева, то прогрев электродами – это метод прогрева монолитных конструкций сетью электродов, с помощью которых выделение тепла происходит непосредственно в бетоне при пропускании через него электрического тока. Данный метод в основном применяется для массивных железобетонных плит, колонн, стен. При этом методе время на проведение бетонных и монтажных работ значительно сокращается, но есть и недостаток – большие затраты (потери) электроэнергии.

Электропрогрев с применение в качестве нагревательного элемента провод. Равномерный прогрев конструкций достигается путем рациональной укладки кабеля и близкого его контакта с объектом. Данный метод характеризуют: равномерность прогрева, трудность монтажа, высокие затраты электроэнергии [3-5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Варламова Н.Ю., Варламова Л.М., Монастырева Е.И., Петрова С.А., Чярина Н.И.* Строительство в условиях Крайнего Севера // Энигма. -2019. № 5-1. С. 35-61.
2. *Кольман О.Я., Иванова Г.В.* Проектные решения столовых вахтовых поселков на основе применения современных строительных материалов // Современная наука и инновации. -2016. № 2 (14). С. 128-132.
3. *Авдеева А. А., Субботина С. А., Шлыкова И. Д.* Особенности устройства фундаментов в условиях Крайнего Севера // Инновационное развитие. -2017. № 11 (16). С. 9-10.
4. *Макарова А.И.* Монолитное строительство в условиях Крайнего Севера // Научный журнал молодых ученых. 2019, №2(15). С.75-80
5. *Красновский Б.М.* Инженерно-физические основы методов зимнего бетонирования. - М.: ГАСИС, 2004, 467с.

ОСОБЕННОСТИ ВЕДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ТОННЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ПЛОТНОЙ ГОРОДСКОЙ ЗАСТРОЙКИ И ПОД ВОДОЙ С ПОМОЩЬЮ ТПМК

Тоннелепроходческий щитовой механизированный комплекс с балансом грунтового давления (ТПМК) «Herrenknecht S-517» предназначен для сооружения тоннелей метрополитена со сборной железобетонной обделкой из водонепроницаемых высокоточных блоков (рис.1.).

Перегонный тоннель $\varnothing 10,65$ м (диаметр дан по внешнему контуру режущего органа) соединяющий отрезок пути «Печатники» - «Нагатинский Затон», размер внутренней части рассчитан на размещение двух путей для пропуска подвижных составов. Трасса тоннеля залегает в зоне высокой техногенной нагрузки внешних и внутренних транспортных сетей, и элементов городской застройки, а также под действующей станцией метро «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии и под р. Москва.

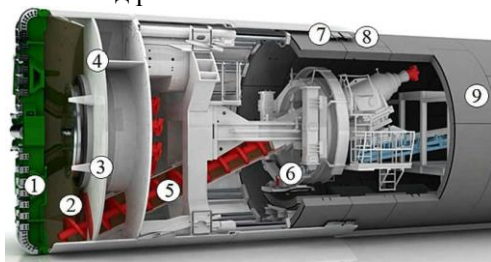


Рис.1. Щитовой проходческий комплекс с грунтопригрузом [1]:
1 – рабочий орган щита; 2 – герметичная призабойная камера; 3 – переборки для перемешивания породы; 4 – перегородка призабойной камеры; 5 – винтовой конвейер; 6 – блокоукладчик; 7 – щетки герметизации; 8 – кольцевой зазор (заполняется раствором); 9 – блочная обделка.

Применение ТПМК возможно в населенных пунктах с плотной застройкой и сложными геологическими и с условиями смешанных водонасыщенных осадочных слабоустойчивых и неустойчивых пород I-III групп таких как: пески, супеси, суглинки, в том числе, от текучей до твердой консистенции с возведением тоннельной водонепроницаемой обделки из универсальных железобетонных высокоточных блоков.

Вращающимся режущим колесом ТПМК отрывает материал от забоя тоннеля, затем материал передается в систему ленточного

конвейера в то время, как гидравлические цилиндры непрерывно толкают машину вперед. Когда строительство кольца будет завершено, машина сможет прижаться к новому кольцу тоннеля и углубиться в грунт. Рабочие методы щита в основном состоят из двух фаз: фаза туннелирования и фаза строительства обделки.

На этапе проходки тоннеля, режущие колесо прижимается к поверхности тоннеля с давлением до 400 бар с помощью гидравлических цилиндров. Режущие ножи, изготовленные из высокопрочной стали, разрыхляют материал на поверхности тоннеля. При необходимости, грунт кондиционируют водой, бентонитом, или пеной, используя систему впрыска. При прокладке тоннеля в неустойчивых грунтах, потеря устойчивости на поверхности тоннеля компенсируется созданием опорного давления (пригруза). Грунт, который был измельчен режущим колесом, используется для поддержки забоя туннеля для того, чтобы достичь состояния равновесия. При прокладке тоннеля в неустойчивых грунтах, потеря устойчивости разрабатываемого грунта компенсируется созданием опорного давления. Давление опоры передается гидравлическими цилиндрами, что позволяет избежать неконтролируемого проникновения. Затем грунт транспортируют из призабойной камеры для выемки грунта с помощью шнекового конвейера. Количество грунта, подающиеся на шнековой конвейер регулируется с помощью скорости вращения шнекового конвейера. Цель состоит в том, чтобы поддерживать равновесие между количеством грунта, удаляемого из призабойной камеры и количеством грунта, накопленного в процессе проходки щита. Это гарантирует оптимальную поддержку поверхности тоннеля. [2,3] Для быстрого реагирования на геологические условия, предусмотрены сенсоры, отслеживающие крутящий момент режущего колеса, крутящего момента шнекового конвейера, а также мониторинг извлеченного материала.

Сложность ведения работ при проходке и сооружении двухпутного перегонного тоннеля определяется инженерно-геологическими, гидрогеологическими и градостроительными условиями. При разработке регламента учитываются существующие сложности, связанные с градостроительными условиями города Москвы:

- наличием подземных коммуникаций и коллекторов по трассе тоннеля;
- наличием плотной городской застройки (в том числе памятники архитектуры);
- наличием не задокументированных коммуникаций по трассе тоннелей, остатков фундаментов зданий и т.п.;

- наличием действующей станции метро «Печатники» Люблинско-Дмитровской линии.

С момента начала и до полного завершения производственных работ должно быть организована система мониторинга проявления возможных деформаций у существующих зданий, сооружений, инженерных сетей и объектов метрополитена всех уровней, попадающих в зону влияния механических воздействий от прокладки тоннеля. Мониторинг следует вести не только в течение всего периода строительства и двух последующих месяцев после его завершения. Данный мониторинг организуют согласно соответствующему регламенту выполнения строительных работ и программы геодезического мониторинга.

Чтобы снизить возможные осадки грунта и деформации всех видов прокладку туннеля следует вести без остановок с единой скоростью, неспешно и плавно, их рассчитывают согласно типу и виду грунта. Если щит при каких-либо обстоятельствах останавливается, то разработка породы и отбор грунта должна быть прекращена.

Также необходимо организовать научно-техническое сопровождение строительства, выдачу оперативной аналитической информации, с выводами и рекомендациями по возможности ведения дальнейшей проходки или необходимым мероприятиям до начала движения щита. [3-5]

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Проходческий щит: самое важное и интересное. [Электронный ресурс] URL: <https://www.arkronix.ru/> (дата обращения 03.03.2022)

2. СТО НОСТРОЙ 2.27.19-2011 Освоение подземного пространства. Сооружение тоннелей тоннелепроходческими механизированными комплексами с использованием высокоточной обделки. - М.: Изд. «БСТ» - 2012. 81с.

3. Строительство перегонных тоннелей современными ТПМК при проходке в сложных гидрогеологических условиях [Электронный ресурс] // Кибернетика URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения: 27.02.2022)

4. Харченко И.Я., Пестрякова Е.А., Писунов А.А., Харченко А.И., Бетербиев А.С.Э., Сонин А.Н. Особенности проектирования, строительства и эксплуатации тоннелей метрополитена и притоннельных сооружений в условиях плотной городской застройки // Транспортные сооружения. 2019. Т. 6. № 3. С. 31.

5. Долев А.А., Алексеев В.А. Уточнение области применения технологии JET GROUTING для условий московского метрополитена. // Метро и тоннели. 2021. № 1. С. 48-52.

*Студент 3 курса 32 группы ИСА Топчилов А.А.
Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. С.В.Самченко
Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. О.А. Ларсен*

ВЛИЯНИЕ МЕТОДОВ БЕТОНИРОВАНИЯ, ОПАЛУБКИ И РАЗДЕЛИТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ ФОРМ НА КАЧЕСТВО БЕТОННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Основными показателями качества бетонной поверхности: отсутствие пор, раковин, гладкость, а также глянец поверхности [1]. Постоянным курсом улучшения и модернизации производства железобетонных изделий является уменьшение трудозатрат. Опалубка, после установки, которую обработали разделительными смазками, снимается намного легче. Также важен метод бетонирования, который использовался.

Сам процесс бетонирования состоит из нескольких этапов (рис 1).

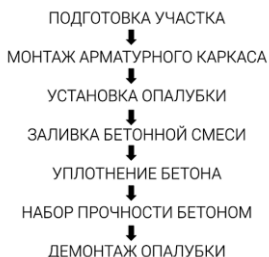


Рис. 1. Схема этапов бетонирования

На крупных стройках используют многоразовые опалубочные щиты, произведённые из фанеры, обработанной лаком, или металла. Перед заливкой бетона, на опалубку наносится тонкий слой смазочной смеси, для более лёгкого отделения от бетонной поверхности и предотвращения схватывания бетона и опалубочного щита [2].

Три группы веществ входят в состав разделительной смазки рис 2 [3].



Рис. 2. Схема состав разделительной смазки

Компонентом, выполняющим разделяющее действие, является пенообразователь. К взаимодействующим с бетоном относятся: растительные масла, смеси различных растительных масел, натуральные смолы, другие. Как следует из названия данные пенообразователи вступают в химическую реакцию с бетоном. Другие же: минеральные масла, синтетические масла, парафиновые воски, другие, наоборот, неактивны к бетону. Вторые способны работать при более широких диапазонах температур. Пенообразователь – главный компонент смазки, именно от него зависят основные свойства разделителя [4, 5].

К добавкам относятся: усилители разделения (кислоты и их производные), связующие, антикоррозийные добавки, консерванты, эмульгаторы, другие. Основной задачей этого компонента является усиление уже существующих свойств или добавление новых, дополнительных действий, например, антикоррозийность или склонность к эмульгированию. Механизм работы добавок заключается в реакции жирных кислот с гидроксидами щелочных металлов, содержащихся в цементе. В результате реакции получаются жиры и вода.

Растворители: органический растворитель, вода при изготовлении разделительных эмульсий. Они регулируют толщину плёнки и сроки её схватывания.

Выделяют 4 вида смазочных смесей.

- ✓ Водная суспензия. Самая экономичная разделительная смазка. Приготавливают из мыльного раствора, керосина, извести и гипса, глины и масла. Прекрасно подходят для малых опалубочных сооружений. Главный недостаток – почти отсутствие эластичности после высыхания, что, при вибрировании и простукивании, влечёт за собой трещины.
- ✓ Гидрофобизаторы. Довольно дорогие, основной компонент – минеральные масла.
- ✓ Органические смазочные смеси. Довольно хорошо справляются с задачей разделения бетонной поверхности и опалубочной. К недостаткам можно отнести довольно строгие рамки температурного режима данной разделительной смазки.
- ✓ Комбинированные. В состав входят замедлители схватывания бетонной массы и гидрофобизаторные компоненты, негативное воздействие которых понижается за счет добавления пластификаторов. Основное предназначение таких эмульсий – придание поверхности фундаментной конструкции гладкости и обеспечение легкого демонтажа опалубочных щитов. Главный минус заключается в цене.

Разделительную смазку подбирают относительно материала формы, в которую заливают бетон. Часто они металлические, пластиковые или сделаны из фанеры. Для таких конструкций подходят большинство разделителей, например, смазка АрмМикс ЭКС-4, предназначенная для опалубки любых видов и материалов, вертикальных и горизонтальных форм любой сложности при производстве железобетонных изделий. Эту и подобные смазки поставляют в бочках и канистрах, наносят на опалубку с помощью ручных (валика, кисти) или пневматических инструментов.

Кроме материала формы, для подбора разделительной смазки важно понимать, какой бетон будут заливать. Силикатные бетоны автоклавного твердения, шлакощелочные, полимербетонные изделия требуют специальных марок разделительных смазок.

Сложности могут вызывать адсорбирующие формы, к таким относится дерево. Без предварительной обработки материал формы будет экстрагировать воду из цементного раствора. Кроме того, присутствие сахара позволяет связываться бетону с деревом, что влечёт за собой повреждение поверхностей. В таких условиях использование разделительной смазки не целесообразно, будет большой расход. Используют цементную пасту, которой обильно обрабатывают поверхность формы, затем счищают излишки. Таким образом поры закупориваются и расход разделителя значительно снижается, а деревянную форму можно будет использовать многократно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 13015-2012. Изделия бетонные и железобетонные для строительства. Общие технические требования. Правила приёмки, маркировки, транспортирования и хранения. – Введ. 2014-01-01. – М.: - Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 "Строительство". – 26 с.
2. Структура бетонных работ // Большой дом URL: <https://big-hous.ru/betonirovanie/> (дата обращения: 23.02.2022).
3. *Кламманн Д.* Смазки и родственные продукты. Синтез. Свойства. Применение. Международные стандарты.: Пер. с англ./ Под редакцией *Ю. С. Заславского.* – М.: Химия, 1388 – 488с.
4. *Ларсен О.А., Наруть В.В., Воронин В.В.* Технология переработки бетонного лома с целью получения самоуплотняющегося бетона//Строительство и реконструкция. 2020. № 2 (88). С.61-66.
5. *Наруть В.В., Ларсен О.А.* Самоуплотняющиеся бетоны на основе бетонного лома сносимых жилых зданий//Промышленное и гражданское строительство. — 2020. — № 2. — С. 52–58.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ШЛАКОЩЕЛОЧНОГО ВЯЖУЩЕГО ДЛЯ ДАЛЬНЕЙШЕГО ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В КАЧЕСТВЕ СВЯЗУЮЩЕГО ПОЛИАМИДНЫХ ВОЛОКН

Ежегодно во всем мире образуется более 17 миллионов тонн отработанных шин, которые не подходят для дальнейшего использования и восстановления в их нынешнем виде. Поэтому предлагается использовать их в альтернативных целях. Эти отходы относятся к категории серьезных загрязнений для окружающей среды, поэтому переработка их компонентов чрезвычайно важна [1].

Помимо этого, уголь составляет 25-30% мирового производства энергии. Следовательно, электростанции производят около 800 миллионов тонн летучей золы и шлака в год во всем мире, которая перерабатывается только на 50%.

Из изложенного выше можно сделать вывод, о необходимости альтернативного способа получения строительных материалов. Одним из таких способов является применение отходов промышленности. Данная идея решает экологическую и экономическую проблему производства строительных материалов [2].

Было предложено совместное использование двух отходов, для получения композитного материала.

Для дальнейшего исследования композитного материала, состоящего из шлака и полиамидных волокон необходимо изучить каждый материал по отдельности.

Шлакощелочное вяжущее – это вяжущее гидравлического твердения, состоящее из шлака и щелочного раствора. Использование систем связующих, активированных щелочью, становится все более важным в технологии бетона. Помимо экологических аспектов, особенно сокращения выбросов CO₂ при производстве связующих, все большее значение приобретает улучшение специальных свойств бетона, которое достигается за счет использования этих систем связующих. Реакции системы шлакощелочного вяжущего, необходимые для формирования прочности, существенно отличаются от реакций, уже известных из систем, основанных на обычных портландцементях. В системах на основе портландцемента образуются в основном гидратные фазы силиката кальция, тогда как в шлакощелочных системах образуются в основном неорганические трехмерные алюмосиликатные системы. Благодаря своей высокой стойкости к химическому воздействию шлакощелочные бетоны особенно подходят для (армированных)

бетонных элементов, которые сильно подвержены воздействию кислоты или сульфатов, например, для канализационных труб или строительных элементов, которые подвергаются воздействию грунтовой воде.

В данном исследовании определялись основные свойства вяжущего состоящего из шлака и 7% раствора едкого натра NaOH.

Первым шагом, была определена истинная плотность шлака, которая равна $\rho = 3,1 \text{ г/см}^3$.

Основным недостатком шлака при производстве геополимеров является ее низкая реакционная способность, которую можно повысить за счет механической активации. Далее этого была определена удельная поверхность.

Удельная поверхность определялась на приборе ToniPERM. Прибор предназначен для определения удельной поверхности порошков по воздухопроницаемости ToniPERM и особенно подходит для постоянного контроля производственных характеристик. В результате удельная поверхность шлака составила $3400 \text{ см}^2/\text{г}$.

Далее был определен оптимальный состав шлакощелочного вяжущего: шлак $\approx 66,5\%$, вода $\approx 33,5\%$.

Помимо этого, были исследованы сроки схватывания и скорость прохождения ультразвука при формировании структуры.



Рис. 1. Структурообразование шлакощелочного вяжущего

В результате анализа данного графика, можно сделать вывод, что активное структурообразование начинается через 32 минуты после затворения структуры. Наименее активное структурообразование происходит через час после затворения.

На рис.2 показана динамика развития усадки шлакощелочного вяжущего. Усадочные деформации на этапе набора прочности связаны с уплотнением структуры материала на микроуровне.

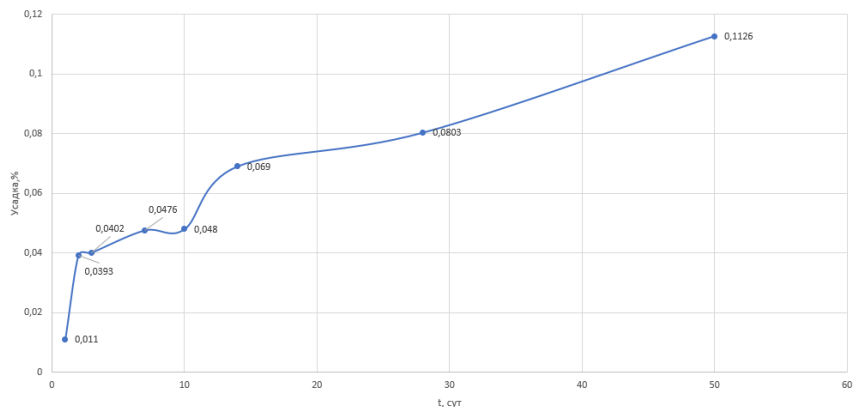


Рис. 2. Усадка шлакощелочного вяжущего

В течении этого периода шлакощелочное вяжущее набирает прочность от 90 до 95% прочности от прочности в возрасте 28 суток. Далее усадка шлакощелочного вяжущего связана с частичным высушиванием материала.

Для решения данной проблемы предлагается вводить добавки снижающие усадочные деформации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Mucsi Gá, Szenczi Á, Nagy Sá, Fiber reinforced geopolymer from synergetic utilization of fly ash and waste tire, Journal of Cleaner Production 2018.
2. *Баженов Ю.М.* Ресурсосбережение в строительстве за счет применения побочных промышленных продуктов – М: ЦМИПКС, 1986.
3. *Волженский, А.В.* Применение зол и шлаков в производстве строительных материалов – М.: Стройиздат, 1984 г.
4. Mucsi Gá, Szenczi Á, Nagy Sá, Fiber reinforced geopolymer from synergetic utilization of fly ash and waste tire, Journal of Cleaner Production, 429-440. 2018.
5. Рекомендации по применению бетонов на шлакощелочном вяжущем в сульфатных, хлоридных и магнезиальных средах. – М: НИИЖБ Госстроя СССР, 1981.
6. Рекомендации по изготовлению шлакощелочных бетонов и изделий на их основе. – М: НИИЖБ Госстроя СССР, 1986.

Студент 3 курса 31 группы ИСА Машикова М.Ю.

Научный руководитель – доц., канд. техн. наук О.А. Ларсен

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. С.В. Самченко

МЕРОПРИЯТИЯ, СПОСОБСТВУЮЩИЕ СНИЖЕНИЮ УСАДКИ ПРИ ВЫСЫХАНИИ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Изменение объёма является одним из наиболее вредных свойств бетона, которое влияет на его долговременную прочность и долговечность. Усадка может быть вызвана уменьшением длины или объема бетона в результате изменения содержания влаги или химических изменений. Необходимость облегчить кладку и укрепить бетон часто приводит к решению использовать большее количество воды для затворения, чем необходимо для процесса гидратации. Содержание воды создает движение и растягивающие напряжения, которые вызывают усадку. Усадка бетона может привести к растрескиванию и нестабильности размеров бетонных элементов (рис. 1) [1].



Рис. 1. Усадка бетона

Причины возникновения усадки бетона:

высокое содержание вяжущего; содержание избыточного количества воды; испарение воды; сокращение продуктов гидратации; отношение площади поверхности к объему бетона; факторы окружающей среды; низкое соотношение воды и цемента; гидратация цемента; высокая температура воздуха; низкая влажность; нестабильность высыхания бетона; тип заполнителей; движение влаги в бетоне. [2]

Различные виды усадки бетона и методы их предотвращения

Пластическая усадка

Пластическая усадка развивается вследствие испарения воды с поверхности бетона или абсорбции в бетонную форму. Происходит сокращение объема из-за движения воды из бетона, пока он еще не схватился или до того, как он приобретет первоначальную прочность. Это движение воды может происходить во время процесса гидратации или из-за условий окружающей среды, приводящих к испарению воды, которая находится на поверхности влажного бетона.

Предотвращение пластической усадки:

1. предотвращение быстрой потери воды с поверхности благодаря покрытию поверхности полиэтиленовой пленкой и правильной вибрации бетона;

2. использование расширяющегося цемента или цемента, компенсирующего усадку;

3. использование алюминиевого порошка или фиброволокна;

4. снижение температуры бетонной смеси.

Большинство строительных материалов, имеющих в своей структуре поры, расширяются при поглощении влаги из атмосферы и сжимаются при высыхании [3]. Эти процессы обратимы, они вызывают трещины в зданиях в виде усадки при высыхании. Усадка происходит, когда вода начинает испаряться с открытой поверхности, а перепад влажности по глубине плиты вызывает деформацию.

Предотвращение усадки при высыхании:

1. использование бетона с более низким содержанием воды;

2. подбор качественных ингредиентов для бетонной смеси;

3. поддержание соотношения воды и цемента в бетонной смеси;

4. уменьшение объема цементного теста.

Аутогенная усадка наблюдается у бетонов с низким водоцементным отношением ($\sim 0,33$) [4]. Усадка происходит после первоначального схватывания бетона из-за гидратации, так как этот процесс требует воды и, следовательно, уменьшает количество внутренней свободной воды. Это вызвано процессом самовысушивания в порах цементного камня. В данном процессе внутри структуры цементного камня вся вода используется для гидратации, а влажность извне не может быстро проникать внутрь из-за плотной структуры.

Предотвращение аутогенной усадки:

1. Выравнивание содержания цемента в смеси;

2. использование низкотемпературного цемента;

3. использование добавки, уменьшающей усадку;

4. применение стальных волокон и полипропиленовых волокон;

5. добавление предварительно замоченного легкого заполнителя.

Усадка при карбонизации

В затвердевшем бетоне происходит усадка при карбонизации [5]. CO_2 из окружающей среды на цементном камне вызывает химические реакции. Это приводит к образованию карбоната кальция и воды и, в следствие, к уменьшению объема (рис. 2).

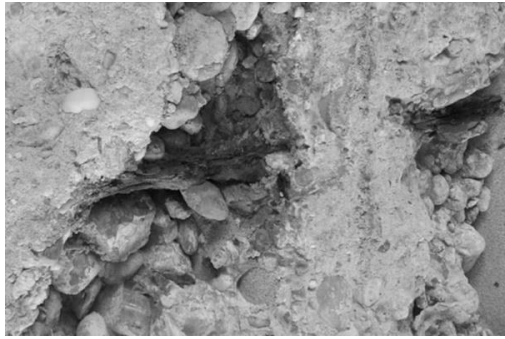


Рис. 2. Усадка при карбонизации

Предотвращение усадки при карбонизации:

1. Обеспечение регулярных усадочных швов в бетоне;
2. использование более высокого модуля упругости заполнителя;
3. использование более низкого содержания цемента.

Правильное соотношение воды и цемента в составе бетонной смеси имеет решающее значение для снижения вероятности усадки бетона. Если при строительстве использовать бетон высоких марок, соблюдать верные пропорции состава, учитывать факторы окружающей среды, а также сохранять влажность поверхности на оптимальном уровне, возможно свести возникновение усадки к минимуму.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Д. С. Толмачев.* Влияние усадки на структуру и прочность растворов / *Д. С. Толмачев.* – Текст: непосредственный // *Строительные материалы.* – 2013. - № 10. – С. 62-65.
 2. *Н. Н. Попов.* Влияние трещин на деформации и на распределение усилий в железобетонных конструкциях / *Н. Н. Попов.* – Текст: непосредственный // *Железобетонные конструкции.* – 1948. – С. 123.
 3. *Д. Сайе.* Способы уменьшения усадочных деформаций высокопрочного бетона / *Д. Сайе.* - Текст: непосредственный // *Цемент и его применение.* – 2016. - № 5. – С. 64-67.
 4. *К. Б. Шарафутдинов.* Изучение эффективности суперабсорбирующей полимерной добавки для уменьшения аутогенной усадки бетона без снижения его прочности / *К. Б. Шарафутдинов, К. А. Сарайкина, Г. Г. Кашеварова, В. Т. Ерофеев.* – Текст: непосредственный // *Строительные материалы.* – 2021. - № 12 – С. 61-68.
- Ю. М. Баженов.* Технология бетона: учеб. Пособие для вузов / *Ю. М. Баженов.* – Текст: непосредственный // *Строительные материалы.* – 2007. – С. 516-517.

ЩЕЛОЧЕСИЛИКАТНАЯ КОРРОЗИЯ

Щелочесиликатная реакция (ЩСР) – это результат контакта кремнезема с щелочной средой порового раствора [1].

Принцип действия щелочесиликатной реакции

Процесс разрушения кремнеземсодержащего заполнителя происходит из-за соприкосновения с щелочной среды порового жидкости, в результате чего нарушается связь между двумя атомами кремния через кислород под влиянием гидроксид-иона:



В ходе реакции щелочного порового раствора с цементирующим веществом на внешней части заполнителя образуется кромка из продуктов взаимодействия; процесс реакции протекает внутрь заполнителя. Появление трещин происходит из-за давления, с которым продукт реакции (щелочесиликатный гидрогель) действует на материал и даёт начало образованию растягивающих напряжений [2].

Показатели щелочесиликатной коррозии

Процесс взаимодействия заполнителя с поровой жидкостью происходит как минимум с одним из последующих поверхностных признаков (рис. 1, 2).

Источники щелочных соединений в бетоне

Проникновение в бетон щелочных соединений возможно с его компонентов (цемента, ускорителей твердения, противоморозных добавок, заполнителей) или приходиться из внешней среды (вода, участвующая в производстве, морская вода, противогололедные препараты). Цемент является главной причиной присутствия катиона натрия и катиона калия в бетоне. K_2O в клинкере находится в пределах 0.1-1.5 %, Na_2O – 0.1-0.8 %. Сейчас прибегают к условию, которое лимитирует количество активных щелочных компонентов, содержащихся в бетоне, значением 3 кг/м^3 в пересчете на Na_2O [3].

Длительность периода до появления первых признаков разрушения По большей части временные рамки до момента образования первых трещин зависят от возможности реагировать кремнеземсодержащей породы с щелочным раствором. Заполнители: высокореакционноспособные - 1 год; медленнореагирующие - 6 - 10 лет. Минералы метаморфического, вулканического и осадочного происхождения включены в материалы первого типа. Вулканические стекла (обсидианы, перлиты), базальты, песчаники несут в себе микрокристаллический и опаловидный кремнезем, кварциты,

кристобалит и тридимит. Кварцевые частицы с пластическим искажением формы, прошедшие через определённые геологические процессы, являются заполнителями с довольно продолжительным периодом появления первых признаков разрушения. В глубинных вулканических (гранитах, гранитоидах) и метаморфических породах (в гнейсах, брекчиях) можно обнаружить несколько изменённые кристаллики кварца [4].

Риск возникновения коррозии велик только при единовременном выполнении трех условий:

1. Количество щелочных оксидов в пересчете на Na_2O превосходит 3 кг на 1 м^3 бетона;
2. Наличие в бетоне заполнителей, содержащих кремнезём и склонных к взаимодействию с щелочной средой порового раствора;
3. Условия повышенной влажности при эксплуатации бетона.

Чтобы предотвратить образование щелочной коррозии в бетонную смесь добавляют мелкодисперсные минеральные добавки и некоторые химические связи. Наиболее результативно затрудняют распространение ЩСР такие активные добавки, как микрокремнезём (МК), гранулированные доменные шлаки, природные пуццоланы, зола-уноса. Их производительность связана в какой-то степени с заменой цемента, благодаря чему понижается содержание щелочных соединений в бетонной смеси, что также позволяет понизить число пор и построить гораздо плотную структуру материала, понижает подвижность



щелочных катионов [5].

Рис. 1 Испытание на коррозионную стойкость пеностеклянного заполнителя при воздействии NaOH

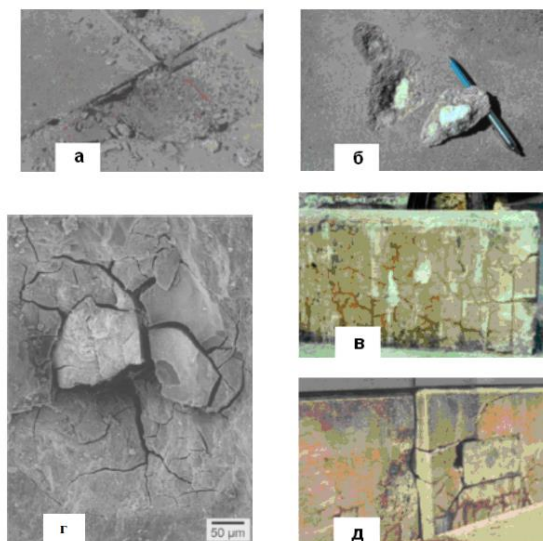


Рис. 2. Щелочесиликатная коррозия:

- а) выкрашивание бетона; б) воронкообразное отслаивание бетона; в) появление сети трещин сперва небольших, а после более глубоких; г) щелочесиликатный гель; д) увеличение в объёме бетонных массивных элементов и последующий взаимный сдвиг их

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. А.С. Брыков. Щелоче-силикатные реакции и коррозия бетона / А.С. Брыков. - Текст: непосредственный // учебное пособие – СПб.:СПбГТИ(ТУ), 2009. – 27 с.
2. litsil.ru [Электронный ресурс]. – Щелочно-Силикатная Реакция (ASR), 2016. – Режим доступа : <https://litsil.ru/stati/statya-1/>.
3. echemistry.ru [Электронный ресурс]. – Коррозия строительных материалов, 2007. – Режим доступа : <https://echemistry.ru/assets/files/books/korrozija/vernigorova-v.n.-korrozija-stroitelnyh-materialov.-2007.pdf>.
4. industrial-wood.ru [Электронный ресурс]. – Коррозия под действием растворов оснований, 2019. – Режим доступа : <https://industrial-wood.ru/korroziya-i-zaschita-oborudovaniya/11953-korroziya-pod-deystviem-rastvorov-osnovaniy.html>.
5. izvestiapgups.org [Электронный ресурс]. – Влияние нанокремнезёма на кинетику протекания щелочной коррозии бетона, 2014. – Режим доступа : <http://izvestiapgups.org/assets/files/10.20295-1815-588X-2014-2/10.20295-1815-588X-2014-2-117-123.pdf>

ВЛИЯНИЕ ФАКТОРОВ НА РОВНОСТЬ ЦВЕТА БЕТОННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Архитектурно-декоративный бетон дает возможность изготавливать мало- и большеразмерные декоративные элементы не только плоских, но и объемных форм (3Д бетон). Такой вид бетона дает большой простор для воображения в сфере строительства.

При повышенных требованиях к декоративному бетону, неравномерность цвета его поверхности часто является проблемой в строительной индустрии. Обесцвечивание поверхности представляет собой неравномерность цвета или оттенка в одной плоскости. Обесцвечивание может происходить в следующих видах: (1) грубые изменения цвета на больших участках изделия, вызванные, как показано на рис. 1(а), изменениями в бетонной смеси; (2) пятнистое обесцвечивание, где светлые и темные пятна появляются на участках изделия (рис. 1(б)) [1].

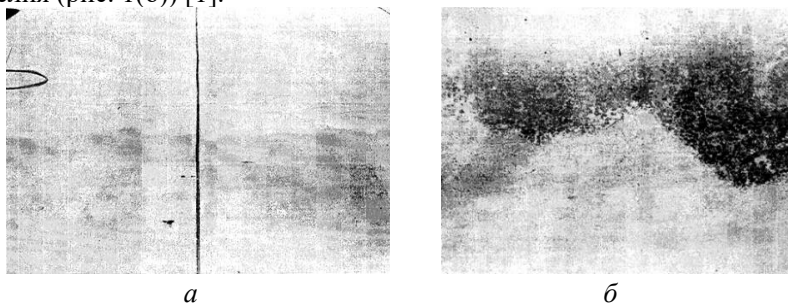


Рис. 1. Виды обесцвечивания бетонной поверхности:
а) Грубые изменения цвета на больших участках изделия,
б) Пятнистое обесцвечивание

Основные факторы, влияющие на цвет бетона [2].

Три фактора, которые, как оказалось, важны для определения ровности цвета бетона – это исходный цвет цемента, $\left(\frac{B}{C}\right)$, а также степень содержания хлорида кальция и щелочей в цементе

Цвет камня

В зависимости от $\left(\frac{B}{C}\right)$, цементное тесто может иметь различные оттенки. Тесто с низким $\left(\frac{B}{C}\right)$ почти всегда темнее, чем тесто с высоким $\left(\frac{B}{C}\right)$, изготовленное из того же портландцемента. Это показано на рис. 2. [3]

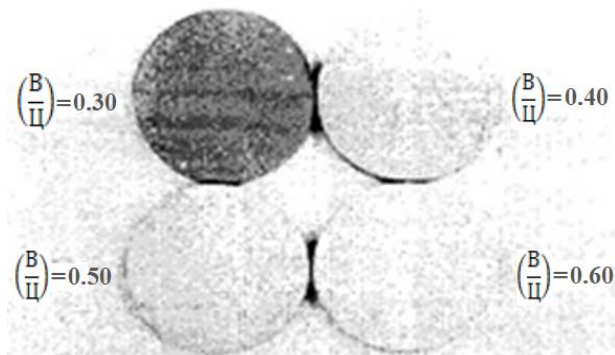


Рис. 2. Влияние $\left(\frac{B}{C}\right)$ на цвет камня

Также присутствие и концентрация извести и химических примесей могут повлиять на конечный цвет камня.

Хлорид кальция и щелочи

Хлорид кальция используется в качестве ускорителя в процессе гидратации цемента, что позволяет быстро схватывать бетон и получать бетон с высокой начальной прочностью. Образование щелочей в бетоне происходит при изготовлении бетона, т.е. щелочи содержатся в составе цемента, химических и минеральных добавок, заполнителей и содержатся в воде затворения.

Результатом взаимодействия щелочей цемента и хлорида кальция является пятнистое обесцвечивание. На рисунке 3 представлена зависимость содержания щелочей и примесей хлорида кальция к обесцвечиванию в бетонном изделии [4].

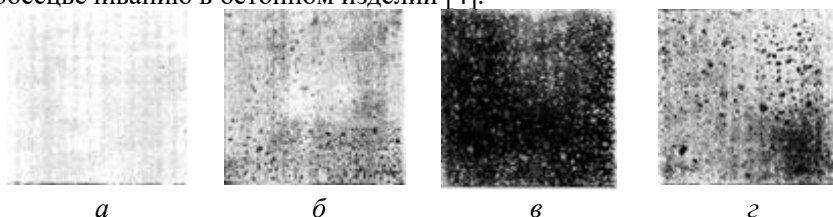


Рис. 3. Зависимость содержания щелочей и примесей хлорида кальция к обесцвечиванию в бетонном изделии:

- а) с низким содержанием щелочей и отсутствие примесей хлорида кальция,
- б) с высоким содержанием щелочей и отсутствие примесей хлорида кальция,
- в) с низким содержанием щелочей и присутствие примесей хлорида кальция,
- г) с высоким содержанием щелочей и присутствие примесей хлорида кальция

Влияние изменений во времени отделки на возможное изменение цвета бетона

На рисунке 4 показаны плиты, отлитые в одно и то же время из одинакового бетона, иллюстрирующие влияние изменений во времени отделки на возможное изменение цвета бетона [5]

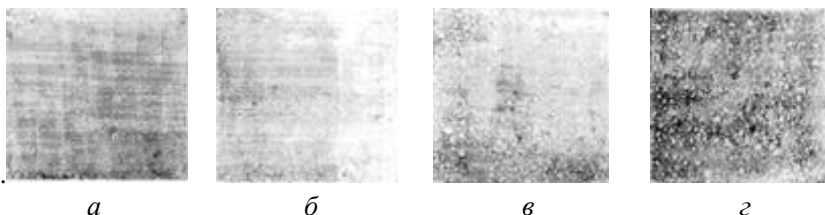


Рис. 4. Влияние изменений во времени отделки на возможное изменение цвета бетона:

- а) обработка до того, как бетон приобрел первоначальную прочность,
- б) обработка через 15 минут после плиты *а*,
- в) обработка через 45 минут после плиты *а*,
- г) обработка через 60 минут после плиты *а*

Выводы:

1. Обесцвечивание бетонной поверхности может быть сведено к минимуму при правильном подборе $\left(\frac{B}{Ц}\right)$;
2. Присутствие хлорида кальция и щелочи в бетоне является основной причиной изменения ровности цвета бетонной поверхности;
3. При более жесткой отделке бетонной поверхности изменяется ровность цвета бетонной поверхности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *А.Ф. Юдина*. Использование «облицовочного» бетона при возведении монолитных зданий / *А.Ф. Юдина, М.Ю. Пономарев*. - Текст: непосредственный // Строительство: Новые технологии – новое оборудование – 2017. - № 3. – С. 39-56.
2. *М.А. Абрамов*. Новая серия панельных домов высотой до 25 этажей / *М.А. Абрамов*. - Текст: непосредственный // Жилищное строительство. – 2013. - № 3. – С. 9-14.
3. *Н.Р. Грининг*. Изменение цвета поверхности бетонных плит / *Н.Р. Грининг, Р. Ландгрэн*. Текст: непосредственный // Журнал *РСА* исследований и лабораторных разработок. – 1966. – том 8. - № 3. – С. 34-50.
4. *В.В. Плотников*. Химия вяжущих материалов и бетонов. Справочник: Учебное пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2015. – 400 с.
5. *Л.П. Оrentлихер*. Защитно-декоративные покрытия бетонных и каменных стен: справ.пособие для ИТР / *Л.П. Оrentлихер, В.И. Логанина*. – М.: Стройиздат, 1993. – 136 с.

*Студент магистратуры 1 года обучения группы 31 ИСА Жидков Ю.А.
Научный руководитель – доц., канд. техн. наук, доц. В.Г. Соловьев
Научный руководитель – зав. НИЛ СКСМ., д-р техн. наук В.А. Ушков*

ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТЕКЛОКОМПОЗИТНОЙ АРМАТУРЫ

Одной из основных причин снижения долговечности железобетонных конструкций является коррозия металлической арматуры [1]. Для увеличения коррозионной стойкости ЖБК используют первичную, вторичную и специальную защиту поверхности в соответствии с СП 28.13330-2017 и ГОСТ 31384-2017. Для изгибаемых бетонных элементов, работающих в агрессивных средах, альтернативным вариантом повышения долговечности является применение полимерной композитной арматуры (АКП), обладающей высокой стойкостью к действию агрессивных сред.

Целью работы являлось изучение влияния диаметра и рельефа поверхности на прочность при растяжении АКП.

Известно [2], что прочность АКП зависит от природы армирующего волокна, что обуславливается небольшим содержанием полимерной матрицы, а также ее низким модулем упругости при растяжении. В технической литературе нет информации о влиянии диаметра АКП на ее физико-механические характеристики [3, 4], однако, есть данные, что в связи с неравномерным распределением напряжений в сечении с увеличением диаметра арматурного стержня снижаются его прочность и модуль упругости при растяжении [5].

Исследование основных физико-механических характеристик проводилось на стеклокомпозитных образцах арматуры (далее АСК) со спиральной навивкой и с песчаной посыпкой диаметрами 6, 8, 10 и 12 мм, изготовленных на основе эпоксидного компаунда марки ЭТАЛ-370 У (ТУ 2257-370-18826195-99).

Испытания проводились на универсальной испытательной машине Instron 1000HDX. Результаты испытаний образцов не учитывались, если разрушение происходило вне пределов рабочего участка между испытательными муфтами.

Исходя из результатов испытаний (рис. 1), прочность и модуль упругости при растяжении арматуры снижается с увеличением диаметра, при этом средняя плотность образцов возрастает. Также следует отметить, что АСК с песчаной посыпкой имеет более высокие значения указанных характеристик.

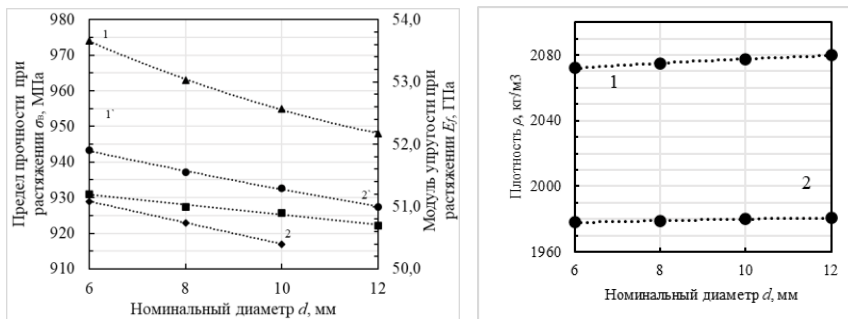


Рис. 1. Диаграмма зависимости предела прочности (1,2), модуля упругости (1',2') при растяжении и средней плотности от диаметра арматуры: 1,1' – арматура с песчаной посыпкой; 2,2' – арматура со спиральной навивкой

Параллельно с испытаниями на растяжение были подготовлены шлифы образцов для исследования поперечного сечения арматуры с песчаной посыпкой при помощи сканирующего электронного микроскопа Quanta 250 FEI.

По результатам анализа полученных снимков (рис. 2) обнаружено, что в сечении образцов диаметром 12 мм наибольшее количество дефектов: неравномерность распределения полимерной матрицы, увеличение расстояния между армирующими волокнами, обрывы отдельных волокон и группы волокон, микропоры.

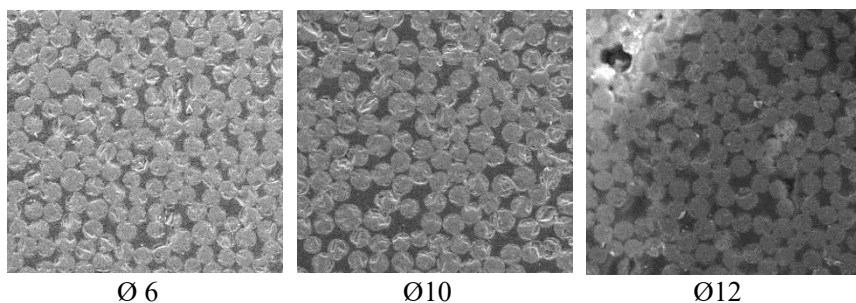


Рис. 2. Структура сечения стеклокомпозитной арматуры (x300)

В таблице 1 представлены результаты определения процентного содержания матрицы и армирующих волокон в сечении. Полученные значения свидетельствуют об увеличении расстояния между волокнами,

неравномерности распределения волокон в сечении и увеличении количества дефектов с увеличением диаметра арматуры.

Таблица 1

Определение содержания полимерной матрицы в сечении АСК

Ø (мм)	Результаты измерений (%)						Содержание волокна в сечении (%)	Содержание матрицы в сечении (%)
	1	2	3	4	5	6		
6	79	73	78	76	80	79	78	22
10	70	70	76	74	73	71	72	28
12	72	72	80	74	69	70	73	27

В результате испытаний образцов АСК диаметрами 6-12 мм установлено:

- образцы с песчаной посыпкой по сравнению с образцами со спиральной навивкой обладают более высокими значениями прочностных характеристик;

- с повышением диаметра АСК увеличиваются расстояния между волокнами, неравномерность их распределения в сечении и количества дефектов, что приводит к снижению прочностных характеристик на 2-3 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Розенталь Н.К., Чехний Г.В., Любарская Г.В. О причинах раннего повреждения бетонных и железобетонных конструкций// Промышленное и гражданское строительство. 2000. №9. С.41-43.
2. Селезнев В.А., Какуша В.А., Ушков В.А., Чуков Н.А., Горбунов И.А. Эксплуатационные характеристики полимерной композитной арматуры// Промышленное и гражданское строительство. 2021. № 1. С. 42-50.
3. Салия Г.Ш., Шагин А.Л. Бетонные конструкции с неметаллическим армированием. – М.: Стройиздат, 2007. – 144 с.
4. Степанова В.Ф., Степанов А.Ю., Жирков Е.П. Арматура композитная полимерная. – М.: ООО «Бумажник», 2013. – 200с.
5. Гиздатуллин А.Р., Хозин В.Г., Куклин А.Н., Хуснутдинов А.М. Особенности испытаний и характер разрушений полимерной арматуры// Инженерно-строительный журнал. 2014. № 3 (47). С. 40-47.

ПРИЧИНЫ РАЗРУШЕНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ТРУБ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В настоящее время железобетонные конструкции выступают в роли основного строительного материала, который используется практически во всех сферах строительного производства.

В связи с развитием инфраструктуры подземных канализационных и водоотводных сетей больших городов, в современном строительстве все большее распространение получает производство железобетонных труб, предназначенных для подземных коллекторов, по которым транспортируются сточные воды и жидкости, не проявляющие агрессию к железобетону и уплотняющим герметикам [1].

На сегодняшний день эксплуатационный срок службы большей части существующих сооружений системы канализации находится в пределах 20-30 лет, в то время как их нормированный срок должен превышать 50 лет.

Уменьшение срока службы железобетонных трубопроводов связано непосредственно с возникновением в трубах коррозии железобетона. Так как в действующих нормативных документах регламентируется только степень агрессивности сточных вод, которые относятся к «слабоагрессивным» по отношению к бетонным и железобетонными конструкциям, и никак не регламентируется степень агрессивности иных сред. Поэтому трубопроводы укладываются без применения каких-либо средств защиты [2].

К готовым железобетонным напорным трубам по ГОСТ 12586.0-83 предъявляются следующие требования: водонепроницаемость – не менее W4; водопоглощение не более 6 % по массе; морозостойкость бетона - не меньше F100, что позволит обеспечить бесперебойную работу и повышенную долговечность при множественных перепадах температур. Трубы изготавливаются из тяжелого бетона с прочностью на сжатие не меньше класса B30 [3].

Так как сточные воды относят к слабоагрессивным воздействующим факторам, то в настоящее время железобетонные трубы производятся без какой-либо дополнительной защиты, поскольку в стандартах не учитывается воздействие иных агрессивных сред на трубопроводы, что в свою очередь оказывает значительное влияние на уменьшение срока эксплуатации данных железобетонных изделий.

Происходит это из-за того, что агрессивная среда, проникая в бетон и взаимодействуя с ним, приводит к изменению физико-механических

свойств бетона, коррозию арматуры и т.п. По причине этих процессов происходит нарушение защитного слоя бетона, снижения конструктивной способности и значительное уменьшение срока службы труб, что приводит к преждевременной их замене.

Коррозия является главной причиной разрушения герметичности трубопроводов, а это в результате наносит ущерб окружающей среде и здоровью населения, нарушает экологическую обстановку в районе.

На основе многочисленных исследований было установлено, что в процессе эксплуатации железобетонные трубы подвергаются внешнему и внутреннему агрессивному коррозионному воздействию [3].

Внешняя коррозия бывает связана с солями, щелочами и кислотами, содержащимися в грунтовых водах, присутствием этих веществ в грунтах, а также с воздействием электричества, причем наиболее уязвима сводовая часть трубы, которая эксплуатируется в высоковлажной кислотной и щелочной среде.

Внутренняя коррозия железобетонных труб обуславливается воздействием агрессивной биологической среды, вызывающая сероводородную коррозию.

Биологически активная среда формируется внутри трубы и включает в себя следующие составляющие, ответственные за образование агрессивной газовой среды и процессы коррозии:

- бытовые и промышленные сточные воды;
- микроорганизмы;
- газы биогенного происхождения (углекислый, метан, сульфиды, соединения азота и др.).

Наиболее агрессивным газом, образующимся из сточных вод, является сероводород, вырабатываемый бактериями. Бактерии, кроме того, обеспечивают появление сульфидов и полисульфидов, а они в свою очередь окисляются до элементарной серы с последующим образованием серной кислоты - главного разрушителя бетона. Из этого следует вывод, что в разрушении напорных и безнапорных железобетонных труб принимают участие не только сероводород, но и некоторые кислоты, выделяемые бактериями.

Сероводородная коррозия происходит в следствие образования на поверхности бетона двуводного гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), а в переходном слое – этtringита ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$), которые обуславливают процесс деструкции изделия. Разрушение происходит в верхней части железобетонных труб, расположенной над водой.

Разрушение труб происходит по следующей схеме:

- микроорганизмы находятся в иловых отложениях на дне трубы и выделяют сульфаты, затем они восстанавливают сульфаты SO_4^{2-} до сульфидов S^{2-} , включая сероводород;
- сульфиды соединяются с водородом в бытовых и промышленных сточных водах, образуя сероводород H_2S ;
- сероводород поднимается вверх, взаимодействует с парами воды и конденсируется на своде трубы;
- воздушные бактерии, находящиеся на внутреннем своде трубы, окисляют сероводород и другие соединения серы до серной кислоты;
- в свою очередь серная кислота вступает в химическую реакцию с цементным камнем бетона, разъедая и разрушая его.



Рис.1. Коррозия труб

Проникновению серной кислоты вглубь бетонной матрицы приводит к образованию дефектов внутри бетона, окисляется и ржавеет арматура (рис.1), из-чего труба со временем полностью разрушается [4].

Поэтому для повышения долговечности железобетонных труб необходимо руководствоваться требованиями, которые предъявляются к ним по морозостойкости [5].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ракитин Б.А. Напряжённо-деформированное состояние безнапорных железобетонных труб большого диаметра: автореф. дис. ... канд. технич. наук: 05.23.01/ Ракитин Борис Андреевич. – Челябинск, 2010. – 15 с.
2. Ахмадуллин Р. Р. Повышение долговечности железобетона в условиях сероводородной коррозии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05/ Ахмадуллин Ришат Рашитович. – Уфа, 2006. – 24 с.
3. Овчинникова А.И. Механика поврежденных армированных конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.17/ Овчинникова Алена Игоревна Ахмадуллин Ришат Рашитович. – Волгоград, 2004. – 20 с.
4. Кантор П. Л. Повышение долговечности железобетона водоотводящих коллекторов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05/ Кантор Павел Львович. – Уфа, 2012. – 23 с.
5. Добшиц Л. М. Морозостойкость бетонов транспортных сооружений и пути её повышения: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05/ Добшиц Лев Михайлович. – М., 2005. – 46 с.

*Студент бакалавриата 4 года обучения 31 группы ИСА Дзарасов М.Р.
Научный руководитель - доц., канд. техн. наук, доц. Н.А. Гальцева*

ОСОБЕННОСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СОСТАВА БЕТОНА И ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БЕРЕГОЗАЩИТНЫХ ТЕТРАПОДОВ

Область применения тетраподов Т-3 весьма специфична, в отличии от областей применения обычных сборных железобетонных изделий. Данные изделия применяются как огородительные сооружения, также используются в укреплении руслов рек, озер для предотвращения эрозии почвы и оседания грунтов. Тетраподы способствуют устранению смыва верхнего слоя грунта прибрежной зоны, что позволяет сохранять русла рек в их прежнем состоянии и недопускать их перепахивания и исчезновения. [1, 2].

Применение различных укрепительных бетонных распространено в том числе на городских набережных, где достаточно часто прелбразовывпабт территорию набережной в место отдыха для городского населения. Так блоки защищают береговую зону и создают безопасное место для людей во время сильных приливов, а так же отражают волны во время штормов, в связи с этим у бетонных блоков есть второе название – волнорезы.

Ввиду необычной конструкции тетраподов их довольно часто применяют в парках, в качестве декоративного элемента. Их необычная конфигурация оригинально смотрится в парках, но во многих случаях они выполняют основную роль точек опоры, там где грунты податливы и возможно оползни [3-5].

Тетраподы Т-3 незаменимы при проведении подводных и причальных работ различного назначения. К основным техническим характеристикам относятся:

- масса одного тетрапода – 3т и 5т;
- класс бетона – В30;
- марка бетона по морозостойкости должна быть F100;
- марка по водонепроницаемости - не ниже W6.

В качестве основного потребителя тетраподов служат региональные организации по охране морской среды для защиты берегов Черного и Азовского морей.

Марка бетона по морозостойкости устанавливается проектной организацией в зависимости от климатических условий района строительства. При температурном режиме выше -5°C марка бетона для морских сооружений – F100, а для речных сооружений – F75. При температуре от -5°C до -20°C – F150 и F100. От -20°C до -35°C – принимаются марки F200 и F150. При расчетной температуре воздуха -35°C – принимаются марки F300 и F200.

Особенно важным показателем для тетраподов является марка бетона по водонепроницаемости, так как они применяются в основном рядом с водой. Для морских сооружений принимается марка по водонепроницаемости W6, для речных сооружений – W4. Тетраподы для берегозащитных сооружений, расположенных в приурезовой (урез воды – это граница воды на берегу водного объекта (береговая линия)) зоне побережья с интенсивным волнением и подвергающихся действию льда, изготавливаются из гидротехнического бетона марки не ниже М400 по прочности на сжатие и водонепроницаемостью – не ниже W 6.

Для тетраподов на производстве отпускная прочность, как и для большинства жби, не менее 70%. Для армирования применяется горячекатанная гладкая арматурная сталь, каркас из неё придаёт тетраподам жёсткость и необходимую надежность. Так как тетраподы подвержены коррозии и постоянному воздействию влаги, их обрабатывают антикоррозийными растворами и гидрофобными составами. Так же особое внимание при производстве тетраподов уделяется применяем вяжущим веществам.

Для бетона, используемого при производстве тетраподов, установлено много требований, в связи с нахождением изделий в агрессивной среде. Бетон должен иметь специальный состав для гидротехнических сооружений, иметь высокие прочностные характеристики (прочность на сжатие 300 МПа и выше) и, как уже отмечалось выше, высокую способность сопротивляться частой смене температурного режима. Состав бетона подбирается для партий, используемых в разных местах, отдельно, так имеет значение будет ли изделие постоянно в воде и ли попеременно омываться водой, или вовсе находиться на суше.

В зависимости от места использования тетраподов могут допускаться конструктивные изменения (применение петель для подъема, особо гладкая поверхность для использования в архитектурных композициях). Для стандартных же тетраподов разрешаются раковины и вмятины, но не более 3% поверхности.

В настоящее время широко стоит вопрос о создании современных экологических материалов, которые можно применять в гидротехнических бетонах и при этом иметь возможность утилизировать многотоннажные промышленные и сельскохозяйственные отходы. Экономические аспекты применения отходов промышленности также являются очень важными, так как это позволяет и уменьшить себестоимость продукта и , следовательно, сделать продукт более доступным потребителю [6, 7, 8].

Исследование уже построенных гидротехнических сооружений показывает, что работоспособность конструкций уменьшается

раньше, чем установлено нормами, что приводит к более частым ремонтам и, соответственно, удорожает стоимость содержания.

Относительно тетраподов ситуация такая же, только ремонтировать и восстанавливать их не имеет смысла. Изделия заменяются на новые, то есть необходима их низкая стоимость и при этом стараться сохранять и пытаться улучшать эксплуатационные свойства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Жиба Р.Ю., Ивлиева О.В.* Современные условия развития берегов гагрского залива (Абхазия) // Грозненский естественнонаучный бюллетень. 2016. №4. С. 16-24
2. *Анастасьева И.В., Соловьева И.А., Колomoец П.П.* Берегоукрепление реки нальчик в кабардино-балкарии // В сборнике: ЭКОЛОГИЯ РЕЧНЫХ ЛАНДШАФТОВ. сборник статей по материалам II международной научной экологической конференции. 2018. С. 7-11.
3. *Батяновский Э.И.* Технология производства железобетонных изделий: учебное пособие // Э.И. Батяновский. – Минск: Высшая школа. 2019. 319 с.
4. *Тетиор А.Н.* Железобетонные и каменные конструкции // Издательский Дом «Академия Естествознания». Москва, 2016. С. 547-550
5. *Мельниковс А.Г., Симанис О.И., Янушевскис А.В.* Проектирование несущих конструкций из тетраподов оптимальной формы, используя метамодели// Современные проблемы машиностроения. VII Международная научно-техническая конференции. Национальный исследовательский Томский политехнический университет. 2013. С. 244-250
6. *Youssef Ya.W., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I.* Pozzolan activity assessment of some mineral additives used in roller compacted concrete for dam construction // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. С. 419-426.
7. *Баженов Ю.М., Булгаков Б.И., Хунг Н.С.* Гидротехнический бетон с органоминеральной добавкой // СТРОИТЕЛЬНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ: НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ. Сборник материалов I Всероссийской научной конференции, посвящённой 90-летию выдающегося учёного-материаловеда, академика РААСН Юрия Михайловича Баженова. Москва, 2020. С. 114-117.
8. *Самченко С.В., Воронин В.В., Ларсен О.А., Наруть В.В.* Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2 (746). С. 71-78.

*Студент магистратуры 2 года обучения 31 группы ИСАм Котов Д.А.
Научный руководитель - доц., канд. техн. наук, доц. Н.А. Гальцева*

РАЗРАБОТКА СОСТАВОВ СУХИХ СТРОИТЕЛЬНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Гипсовые строительные материалы широко применялись во все времена. Модификация материала и придание необходимых физико-химических свойств - является постоянной задачей.

Многие виды промышленности до сих пор высокоотходны. Применение технологий переработки отходов этих производств считается эффективным направлением развития промышленности. В данный момент уже известно про переработку отходов пирометаллургической промышленности в удобрения, отходов производства чугуна – в производство портландцемента.

Учитывая номенклатуру строительных материалов в которых используются гипсовые вяжущие. Одним из наиболее подходящих материалов является синтетический ангидрит. На основе синтетического ангидрита возможно производство различных строительных материалов. Наиболее его применение эффективно в закладочных смесях [1-4].

Производство сухих строительных смесей производится обычно в одном цехе завода. Составляющие сухих строительных смесей разнятся в зависимости от вида работ для которых они предназначены. Физико-механические свойства можно корректировать применяя различные добавки. Именно поэтому сухие строительные смеси широко распространены и их часто применяют в строительстве. Также для их приготовления не требуются специальные приборы, достаточно стандартных, находящихся на строительной площадке.

Кроме того сухие строительные смеси легки в транспортировке, так как на заводе упаковываются в двухслойные бумажные пакеты с различным весом, и их возможно доставить на большие расстояния от заводов – производителей. При этом, сухие строительные смеси долгое время сохраняют своё качество, что позволяет хранить их (в сухом состоянии) до полугода.

Вводимые добавки способствуют повышению качества и долговечности сухих строительных смесей. Для некоторых смесей важна их прочность, для применения во влажных условиях – водостойкость. Применение различных добавок и их комбинаций позволяет увеличить качество сухих строительных смесей на основе гипсовых и ангидритовых вяжущих и, соответственно, их экономическую привлекательность для строителей.

Ангидритовое вяжущее имеет отличительные особенности, которые в некоторых случаях являются его достоинствами. А в некоторых – недостатком. По сравнению с гипсом, ангидрит имеет более высокую прочность. Ангидрит более медленно схватывается, но и не имеет объемного расширения при твердении, что важно при заполнении ограниченных пространств раствором.

Ангидритовое вяжущее хорошо поается модификации не только добавками, но и механо-химической активацией вяжущего, то есть изменением тонкости помола. Основные свойства ангидритового вяжущего напрямую зависят от тонкости помола., например, прочность ангидритового вяжущего возрастает при увеличении помола.

Введение гидравлических добавок в количествах 1-4 процента, например, портландцемента, также как и в другие вяжущие, приводит к увеличению водостойкости, но получение полностью водостойкого гипса вопрос открытый и спорный.

Природный ангидрит широко используется для ангидрито-шлакоцементных смесей. Но производство синтетического ангидрита открывает новые горизонты. Его физико-механические свойства сравнимы со свойствами природного ангидрита.

Для реализации задач по корректировке свойств (в данном случае – прочности) ангидритового вяжущего для закладочной смеси был проведен трехфакторный эксперимент [5, 6].

В качестве факторов варьирования были приняты: Удельная поверхность гипса, В/В - водовязущее отношение, содержание примесей. Уровни варьирования факторов подобраны исходя из априорных научных источников.

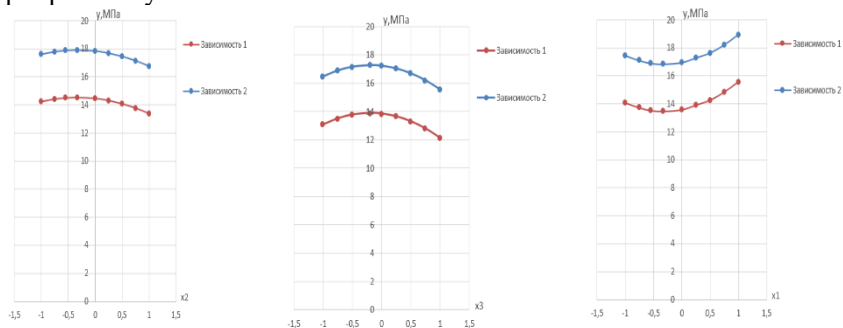


Рис. 1. – Графики зависимостей прочности при сжатии сухой строительной смеси на основе техногенного гипсового вяжущего от различных технологических факторов

Анализируя данное уравнения можно сделать следующие практические выводы.

1. Удельная поверхность весьма существенно влияет на прочность гипса, зависимость при этом является квадратичной, т.е., увеличение этого фактора будет целесообразным до определенного количества.

2. Увеличение водовяжущего отношения приводит к увеличению прочности бетона, но, так как зависимость квадратичная, имеет смысл производить увеличение до определенного количества.

3. Увеличение количества примеси приводит к увеличению прочности бетона, но, так как зависимость квадратичная, имеет смысл производить увеличение до определенного количества.

4. Максимальная среднее значение прочности сухой строительной смеси на основе техногенного гипсового вяжущего высокопрочного бетона составляет 16,58 МПа (при соотношении компонентов: гипсовое техногенное вяжущее – 40 % масс; добавки – 7 % масс; В/В – 0,6; содержание примесей – 3,5 % масс.; песок – 53 % масс..

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Едаменко А.С.* Использование техногенного сырья при производстве гипсовых вяжущих // Научный обозреватель. 2013. № 4 С.92-94.
2. *Гальцева Н.А.* Разработка закладочных смесей на основе модифицированного синтетического ангидрита // Сухие строительные смеси. 2018. №5. С.35-38.
3. *Хадрин С.М., Шелковникова Т.И., Потехин И.А.* Оценка возможности использования техногенного гипсового камня для получения гипсового вяжущего. // Научная опора Воронежской области. Сборник трудов победителей конкурса научно-исследовательских работ студентов и аспирантов ВГТУ по приоритетным направлениям развития науки и технологий. 2020. С 159-162
4. *Панченко А.И., Бурьянов А.Ф., Соловьев В.Г., Козлов Н.В., Пашкевич С.А.* Комплексная оценка эффективности применения гипсового вяжущего повышенной водостойкости // Строительные материалы. 2014. №12. С 72-75
5. *О.В. Александрова* Статистические методы решения технологических задач / О.В. Александрова, Т.А. Мацеевич, Л.В. Кирьянова, В.Г. Соловьев // Москва: МГСУ, 2017. 154 с.
6. *Youssef Ya.W., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I.* Pozzolan activity assessment of some mineral additives used in roller compacted concrete for dam construction // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. С. 419-426.

Студентка 3 курса 32 группы ИСА Павлова А.К.

Научный руководитель - доц., канд. техн. наук, доц. О. А. Ларсен

Научный руководитель - д-р техн. наук, проф. С.В.Самченко

ПРИМЕНЕНИЕ РЕЗИНОВОЙ КРОШКИ В ЦЕМЕНТНЫХ РАСТВОРАХ И БЕТОНАХ

В современном мире постоянно увеличивается количество выпускаемых автомобилей и, соответственно, количество отработанных шин. Изношенные шины разлагаются в течение длительного времени, загрязняя окружающую среду и накапливаясь в ней. При возгорании они также выделяют токсичные вещества с высоким (I и II) классом опасности, которые несут серьезную угрозу для человеческого организма. Следовательно, возникает проблема безопасной, а также экономически выгодной утилизации автомобильных шин.

Одним из перспективных способов переработки отработанных шин является применение резиновой крошки в строительстве. Цементный раствор с резиновой крошкой имеет относительно невысокую плотность, а также высокую морозостойкость, ударную выносливость и теплоизоляционные свойства.

Однако добавление резины снижает прочность раствора на сжатие и на растяжение при изгибе. Согласно исследованиям [1-2], при добавлении в цементный раствор резиновой крошки в количестве 5%, 10%, 15%, 20% и 30% по объему происходит снижение прочности на сжатие на 10...30%, 20...50%, 35...55%, 45...60% и 60...80% соответственно. Также весьма значительное влияние оказывает не только количество резины, но и размер частиц. Чем меньше размер, тем больше объем пор в приготовленном цементном растворе с резиновой крошкой, что ведет к снижению прочности. Кроме того, чем меньше размер, тем выше удельная поверхность частиц, что ведет к увеличению площади поверхности раздела между резиной и вяжущим, дополнительно снижая прочность готового раствора [3]. По мере увеличения размера частиц крошки наблюдается не только повышение прочности, но и улучшение удобоукладываемости.

Содержание резины оказывает более сильное влияние на прочность на сжатие, нежели чем на прочность на растяжение при изгибе. Это обуславливается способностью частиц резиновой крошки препятствовать распространению возникающих трещин. При добавлении в цементный раствор резины в количестве 5%, 10%, 15% по объему наблюдается снижение прочности на 5...20%, 10...25%, 25...35% соответственно [1-2]. Размер частиц крошки на прочность на растяжение при изгибе оказывает такое же влияние, как и на прочность на сжатие [3].

Если говорить о хрупкости цементного раствора с добавлением резиновой крошки, то она понижается вследствие того, что частицы резины являются эластичным материалом, способным улучшать деформативность и трещиностойкость затвердевшего раствора [2].

Цементный раствор с резиновой крошкой обладает большей морозостойкостью по сравнению с обычным цементным раствором. Это обусловлено, в первую очередь, улучшением деформативных свойств, а также гидрофобностью частиц резины [4].

Исследования механического поведения раствора при высоких температурах показали, что прочность на сжатие уменьшалась с повышением температуры. При температурах 200 °С, 300 °С и 400 °С прочность на сжатие цементного раствора с содержанием резиновой крошки в количестве 3% снизилась на 17,0%, 18,3% и 22,9% соответственно. Кроме того, при высоких температурах частицы резины могут подвергаться разложению, повышая пористость, что ведет к ухудшению механических свойств [5].

Для улучшения физико-механических свойств цементного раствора с резиновой крошкой широко используется обработка раствором гидроксида натрия. Также можно вводить жидкие модифицирующие добавки для улучшения межфазной адгезии и твердые добавки для изменения микроструктуры.

При исследовании эффективности предварительной обработки резиновую крошку замачивали в растворе гидроксида натрия в течение 1 ч и 24 ч. Для цементного раствора с 10-процентным содержанием резиновой крошки наблюдалось увеличение прочности на сжатие и на растяжение при изгибе на 0,6 % и 14 % соответственно после выдержки в растворе NaOH в течение 1 ч и на 4,9 % и 20,9 % соответственно после выдержки в течение 24 ч [2].

В качестве жидких модификаторов используются бутадиен-стирольные латексы, эфиры целлюлозы, эпоксидные смолы и битумные эмульсии. При 10-процентном содержании бутадиен-стирольного латекса прочность на сжатие и на растяжение при изгибе цементного раствора с содержанием резиновой крошки в количестве 20% повысилась на 5,3% и 3,6% соответственно. Оптимальное содержание СБС также уменьшает размер пор и повышает морозостойкость. Эфир целлюлозы улучшает равномерность распределения крошки, повышает плотность раствора и сдерживает распространение микротрещин. Добавление эпоксидных смол улучшает межфазную адгезию, что приводит к повышению прочности цементного раствора с резиновой крошкой. При 5-процентном содержании анионной битумной эмульсии прочность на сжатие и на растяжение при изгибе цементного раствора с

содержанием резиновой крошки в количестве 12,5% повысилась на 31,9% и 17,1% соответственно. Кроме того, наблюдалось улучшение стойкости к хлоридам.

Широко используемыми твердыми добавками, влияющими на микроструктуру цементного раствора с резиновой крошкой, являются микрокремнезем и летучая зола. Микрокремнезем уменьшает пористость и препятствует распространению трещин, тем самым повышая прочность. Летучая зола также снижает пористость и, кроме того, хрупкость затвердевшего раствора.

Для дисперсного армирования применяются углеродные нанотрубки и полипропиленовые волокна, создающие жесткую сетчатую структуру. Углеродные нанотрубки заполняют поры, уменьшают трещинообразование, повышают плотность и морозостойкость раствора. При введении полипропиленовых волокон прочность на сжатие цементного раствора с содержанием резиновой крошки в количестве 10%, 20% и 30% повысилась на 2,2%, 2,3% и 1,5% соответственно, а прочность на растяжение при изгибе – на 5,8%, 2,8% и 3,2% соответственно [6].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *A. Turatsinze, S. Bonnet, J.-L. Granju*, Mechanical characterisation of cement-based mortar incorporating rubber aggregates from recycled worn tyres, *Build. Environ.* 40 (2) (2005) 221–226, <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2004.05.012>.
2. *F. Ameri, P. Shoaee, H. Reza Musaei, S. Alireza Zareei, C.B. Cheah*, Partial replacement of copper slag with treated crumb rubber aggregates in alkali-activated slag mortar, *Constr. Build. Mater.* 256 (2020) 119468, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119468>.
3. *Y. Yu, H. Zhu*, Influence of rubber size on properties of crumb rubber mortars, *Materials* 9 (7) (2016) 527, <https://doi.org/10.3390/ma9070527>.
4. *C. Ma, B. Zhao, Y. He, F. Li, G. Long, Y. Du*, Preparation and properties of sustainable magnesium phosphate cement composites with recycled tire rubber particles, *J. Clean. Prod.* 262 (2020) 121253, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121253>.
5. *L. Guelmine, H. Hadjab, A. Benazzouk*, Effect of elevated temperatures on physical and mechanical properties of recycled rubber mortar, *Constr. Build. Mater.* 126 (2016) 77–85, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.09.018>.
6. *S.F. Dong, Z.D. Huang, R.X. Hao*, Experimental research on performance of rubber mortar caused by mineral admixtures, *Concrete* 10 (2013) 136–138, <https://doi.org/10.3969/j.issn.1002-3550.2013.10.035>.

Студентка магистратуры 1 года обучения 31 группы ИСА **Калмакова П.С.**

Научный руководитель – д-р техн. наук, проф. **В.Н. Соков**

ВЛИЯНИЕ ТИПА ЗАПОЛНИТЕЛЯ НА ДЕФОРМАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕТОНА

Деформационные характеристики бетона являются важными параметрами материала, регулирующие процесс деформирования конструкций под нагрузкой. В данной статье подробно рассматривается модуль упругости при растяжении или сжатии или модуль Юнга.

На модуль упругости влияют многие факторы, например, вид вяжущего, вид заполнителя, технология укладки и вибрирования бетонной смеси, влияние различных добавок, а также влияние внешних факторов, таких как температура и влажность окружающей среды.

На данный момент проведено множество исследование влияния типа заполнителя на модуль упругости бетона. Используются разные виды заполнителя, такие как андезит, гранит, известняк, доломит, кварцевый известняк, стальной шлак, керамзит, спеченная зола-уноса, гравий, стекло. В данной работе проанализированы данные экспериментов и исследований, которые показывают значительное влияние вида заполнителя на модуль упругости бетона.

Проводилось большое экспериментов с различными видами заполнителя за рубежом. В исследовании [1] были проведены эксперименты для определения модуля упругости бетона с использованием андезита и гранита в качестве заполнителей. На рис. 1 представлен сравнительная диаграмма модуля упругости для бетонов различных классов по прочности на сжатие с использованием таких заполнителях как андезит и гранит.

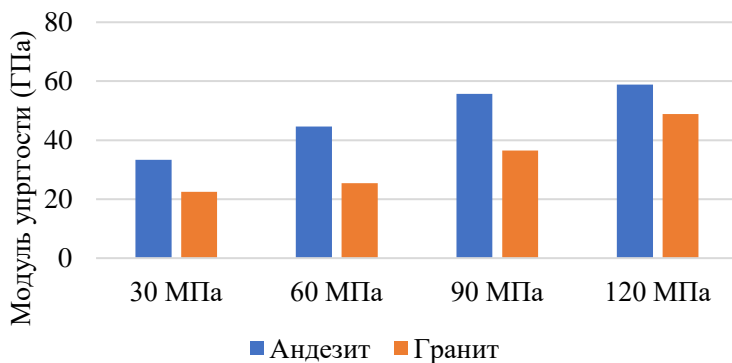


Рисунок 1 – Влияние крупного заполнителя (андезит и гранит) на модуль упругости бетона различных классов по прочности на сжатие

Из данной диаграммы можно сделать вывод, что вид заполнителя может варьировать показатели модуля упругости на несколько порядков и тем самым увеличивать деформационные характеристики бетона.

В зарубежном исследовании [2] также были проведены исследования по влиянию вида заполнителя на модуль упругости бетона. В данном исследовании в качестве заполнителя использовались доломит, известняк, кварцевый известняк и стальной шлак. В качестве вяжущего использовался портландцемент. Все образцы имели одинаковую прочность на сжатие, а следовательно, был достигнут одинаковый класс бетона В60. На рисунке 2 представлена диаграмма модуля упругости с заданными видами заполнителя.

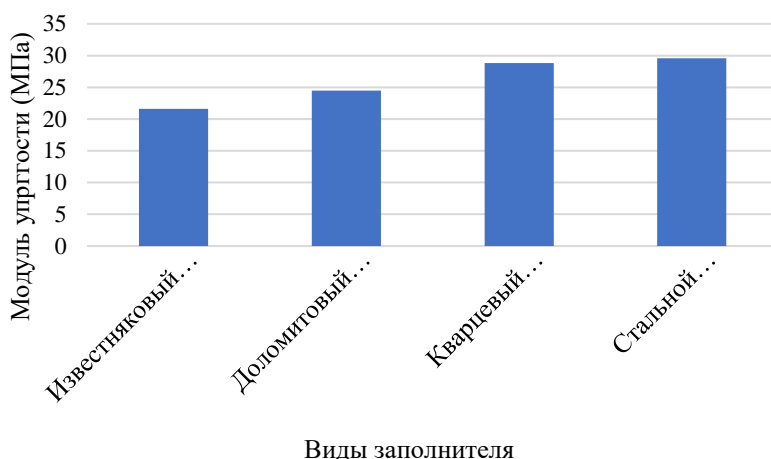


Рисунок 2 – Модуль упругости бетонных образцов с использованием различных видов заполнителей

Из диаграммы видно, что тип выбранного крупного заполнителя оказывает существенное влияние на модуль упругости бетонных образцов. Через 28 дней твердения бетонных образцов с различными типами заполнителей, модуль упругости известкового, доломитового, кварцевого известняка и стального шлака составил 21,6; 24,5; 28,8 и 29,6 МПа соответственно. Наибольшее значение модуля упругости наблюдался у заполнителя из стального шлака, а самый наименьший у известнякового заполнителя. Малое значение модуля упругости у известнякового заполнителя может быть связано с мягкостью данной породы заполнителя.

Также в зарубежном исследовании [3-5] для определения модуля упругости высокопрочных бетонов использовались такие виды

заполнителя, как керамзит, зола-уноса, известняк, гравий, стекло и стальной шлак.

Измеренные модули упругости показывают, что бетон на легком заполнителе имеет более низкий модуль упругости, чем цементный раствор (модуль упругости раствора без учета заполнителя также был экспериментально получен), с другой стороны, более прочные заполнители дают бетону более высокий модуль упругости по сравнению с цементным раствором. Крупный заполнитель разной жесткости оказывает большое влияние на модуль упругости бетона. Модуль упругости на прочных заполнителях через 7 дней по результатам испытаний составлял 94 % от модуля упругости в 28 дней, при этом далее прирост модуля упругости шел крайне медленно.

Результаты данного исследования подтверждают, что, модуль упругости бетона повышается при использовании в составе бетонной смеси прочных заполнителей.

Таким образом можно сделать вывод, что вид заполнителя оказывает значительное влияние на модуль упругости бетона, что положительно сказывается на конструировании сложных объектов строительства. Можно также заметить, что чем выше модуль упругости крупного заполнителя, тем выше скорость нарастания модуля упругости образца.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Hans Beushausen, Thomas Dittmer*. The influence of aggregate type on the strength and elastic modulus of high strength concrete // *Construction and Building Materials*. - 2015. - №132-139. - С. 132-139.
2. *Beshrb H., Almusallama A.A., Maslehuddinb M*. Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete // *Construction and Building Materials*. - 2003. - № 97-103. - С. 97-103.
3. *Zhou F.P., Lydon F.D. and Barr B.I.G*. Effect of coarse aggregate quality on the mechanical properties of high strength concrete // *Cement and Concrete Research*. - 1995. - №177-186. - С. 177-186.
4. *Youssef Ya.W., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I*. Pozzolan activity assessment of some mineral additives used in roller compacted concrete for dam construction // *20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020*. Sofia, 2020. С. 419-426.
5. Самченко С.В., Воронин В.В., Ларсен О.А., Наруть В.В. Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. 2021. № 2 (746). С. 71-78.

ПРОИЗВОДСТВО И ПРИМЕНЕНИЕ АРХИТЕКТУРНЫХ БЕТОНОВ В СОВРЕМЕННОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Материал, позволяющий эстетично оформлять здания и ландшафтные территории, существенно экономя на декоративной отделке, называется архитектурным бетоном, также именуемый декоративным бетоном за его характеристики, позволяющие создавать различные сложные формы и фактурные поверхности.

Архитектурный бетон прекрасно решает эстетические задачи. Он характеризуется устойчивостью к температурным колебаниям, является пожаробезопасным, хорошо подавляет звуки, не является скользким, что позволяет делать из него ступени и декоративные дорожки, а также для работы с архитектурным бетоном не требуется идеальная поверхность основания, так как декоративные элементы скрывают все недостатки поверхности, тем самым позволяют экономить на подготовительных работах. Материал имеет небольшой вес, поэтому декоративные элементы не будут создавать большую дополнительную нагрузку на фундамент.

Архитектурный бетон является разновидностью бетона, поэтому он состоит из тех же компонентов, что и обычные смеси: вода, вяжущее вещество, фракционный наполнитель, пластификаторы. В качестве вяжущего компонента обычно выступает цемент, роль наполнителя выполняют песок или минеральная крошка из гранита или мрамора, при создании смеси вода не должна содержать примесей.

В настоящее время доступна огромная палитра цветовых оксидов, цветов наполнителей и цементов, однако архитектурный бетон ценят за его естественный серый цвет. При смешивании и заливке бетона требуется строгий контроль, так как при каждом последующем замесе оттенок может изменяться.

Важным фактором, влияющим на внешний вид архитектурного бетона, считается применяемый наполнитель. Эту функцию может выполнять как речной песок, так и любой декоративный наполнитель. При обработке поверхности бетонного изделия деактиваторным составом можно оголить небольшой верхний слой цемента, и наполнитель будет выполнять декоративную функцию изделия.

В отличие от различных облицовочных материалов, которые преимущественно формируют ровные плоскости, архитектурный бетон дает возможность проектировать индивидуальные дизайнерские решения для различных сооружений: сложные объемные элементы,

текстурированная поверхность, растительный и геометрический орнамент.

Наиболее распространенной технологией придания рельефности архитектурному бетону является использование формлайнеров – пластиковые или резиновые формы с различной фактурой, которая остается на поверхности бетона. Данная подложка крепится к внутренней части опалубки перед заливкой, впоследствии снимается вместе с ней, а у бетона получается фактурная поверхность.

Область применения архитектурного бетона довольно широка, ведь он позволяет детально имитировать текстуру любого материала, дает возможность его использования во влажных помещениях, устойчив ко внешним воздействиям (рис. 1).



Рис. 1 - Фасад здания из архитектурного бетона

Белый архитектурный бетон применяется для формирования различных декоративных конструкций: искусственных скал, деревьев, водопадов, а также широко применяется для внутренней отделки помещений, создания колонн.

Архитектурный бетон используется и в ландшафтном дизайне: создание фигур человека, животных, птиц, растений. Для изготовления полой скульптуры делается каркас из арматуры, густо обматывается проволокой, после чего выкладывается бетонный раствор. Мелкие детали создают вручную, а уже готовое изделие можно окрасить в любой цвет.

Благодаря своей устойчивости к погодным условиям и устойчивостью к истиранию, архитектурный бетон может использоваться при создании садовых дорожек. Их можно заливать сплошной полосой с последующим выдавливанием рельефного рисунка, или же необходимо выполнить отливку отдельных плит, которые после высыхания выкладываются рядами.

Из архитектурного бетона часто изготавливают ограждающие конструкции, которые могут использоваться как для зонирования интерьеров, так и разграничения территории участка.

Внутри помещений архитектурный бетон использует не только в качестве отделки стен, но и при заливке полов, создания интерьерных колонн, декоративных подоконников, ступеней с имитацией природного камня. Это позволяет сэкономить на материалах, однако визуально такие предметы интерьера не будут уступают изделиям из натуральных материалов.

Архитектурный бетон изготавливается под заказ ограниченным количеством, состав и пропорции бетона могут сильно варьироваться в зависимости от поставленной задачи, поэтому цена данного материала остается высокой. Но, несмотря на эти условия, изделия из архитектурного бетона становятся все более популярными.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве – Методические указания по применению архитектурных бетонов, 2019.
2. Информационный поиск о бетонных смесях «Бетон ИНФО» [Электронный ресурс]. – Состав архитектурного бетона, технология изготовления, область применения архикамня. – Режим доступа: <https://1beton.info/vidy/arhitekturnyj/sostav-arhitekturnogo-betona-tehnologiya-izgotovleniya-oblast-primeneniya-arhikamnya#i-4>, свободный;
3. Производство изделий из архитектурного бетона BARKA Construction [Электронный ресурс]. – Как создается архитектурный бетон? Сфера применения архитектурного бетона. – Режим доступа: <https://archiconcrete.ru/informacija/>, свободный;
4. Маркет PERI. [Электронный ресурс]. – Архитектурный бетон: на что ориентироваться при выборе материалов. – Режим доступа: <https://www.peri.ru/knowledge/poleznoe/arkhitekturnyy-beton.html>, свободный;
5. Johnson museum of art [Электронный ресурс]. – Architectural concrete – Режим доступа: <https://museum.cornell.edu/about/about-building/architectural-concrete>, свободный.

ПЛИТЫ ИЗ ФИБРОБЕТОНА ДЛЯ ВЕНТИЛИРУЕМЫХ ФАСАДОВ

В настоящее время цены на электроэнергию повышаются и содержать неэффективные здания и сооружения становится нерентабельно.

Энергоэффективность зданий - это показатель, который оценивает насколько эффективно жилой дом пользуется всякими видами энергии в процессе эксплуатации – электрической, тепловой, ГВС, вентиляцией и т.д.

Таким образом сохранение энергоресурсов является одной из приоритетных задач строительства при возведении зданий, а также не стоит забывать о уже готовых зданиях, требующих модернизации. Для всех этих целей подходит особая навесная вентилируемая система строения внешней оболочки стены, как вентфасад, который помимо устройства на новых зданиях можно установить на существующие сооружения и, тем самым, повысить эффективность их эксплуатации [1,2].

Вентилируемый фасад представляет собой современную технологию облицовки различных сооружений, выполняющая термо- и звукоизоляционные, защитные и декоративные функции. Конструктивно, вентилируемые фасадные системы, состоят из железного каркаса (подсистемы) и облицовочного экрана. (рис. 1).

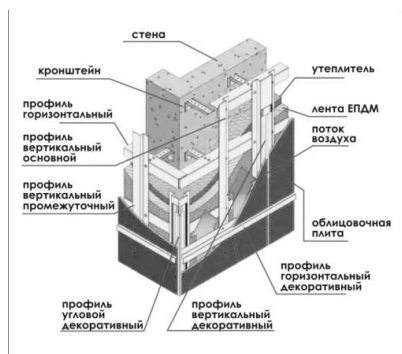


Рис. 1. Схема вентилируемого фасада

Одним из наиболее широко применяемым в настоящее время материалом для отделки фасадов домов являются фасадные плиты из бетона. Рассмотрим подробнее фибробетонные панели (ФБП) для облицовки фасадов.

Фибробетон (от “fibre” – волокно) – композит группы конгломератов, получаемый путем смешивания армирующего компонента в матрицу на основе цементного или известкового вяжущего. С целью армирования применяют как металлическую фибру, так и волокна из целлюлозы (древесные), термопластов (полиэтилена, полипропилена), стекла, карбона (углеродные) в виде отдельных нитей, пучков, изредка лент либо тканей.

В системах навесных вентилируемых фасадов применение ФБП в качестве облицовочного материала не только экономично, но и технически целесообразно. Это обусловлено тем, что благодаря их низкой теплопроводности воздух в прослойке навесного фасада зимой охлаждается медленнее, что способствует снижению риска образования на панелях конденсата.

ФБП не содержат в своем составе горючих компонентов и по группе горючести относятся к негорючим материалам (НГ), что в свою очередь упрощает ввод в эксплуатацию зданий, облицованных такими панелями.

Всё это позволяет считать декоративные ФБ-панели самым современным и перспективным материалом для внешней отделки зданий.

Одним из основных требований к панелям для вентилируемых фасадов является масса квадратного метра облицовки, а также их прочность на изгиб. Поэтому для изготовления ФБП более применим мелкозернистый бетон, который помимо требуемой тонкостенности, ещё обладает рядом существенных преимуществ по сравнению с тяжелым бетоном на крупном заполнителе.

Для получения ФБП применяют две главные категории фиброволокон (рис. 2):

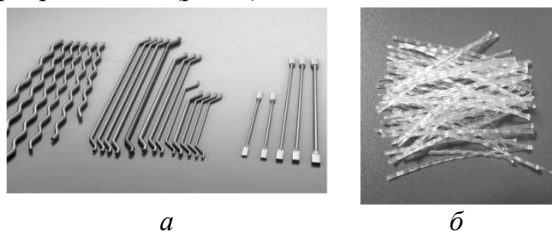


Рис. 2. Главные категории фиброволокон:
а) Типы металлической фибры,
б) Неметаллическая фибра (стеклянное фиброволокно)

- металлическая фибра, где начальным использованным материалом как правило является сталь, и которая имеет разнообразную форму, размеры и свойства;

- неметаллическая фибра, которая изготавливается из

таких материалов, как стекло, целлюлоза, хлопок, базальт и иных горных пород, углеродные и полимерные волокна и др.

Преимущества применения фибробетонов:

- фибра может использоваться как в газо-, так и в пенобетонных конструкциях;
- фибробетон отличается высокой морозостойкостью, водонепроницаемостью, прочностью;
- в отличие от остальных видов бетона, фибробетон не утрачивает своих технических свойств даже после окончания срока службы,

поскольку из-за фибры материал становится вязким;

- фибра в пенобетоне усиливает его прочность и ударную вязкость
- расход бетона за счёт применения фибры гораздо меньше, что значительно сокращает вес конечного изделия;

Недостатки - высокая стоимость по сопоставлению с обыкновенным бетоном и требовательность к подбору состава из-за большой удельной поверхности фибры. Однако эти недостатки легко компенсируются долговечностью материала и его стойкостью к износу.

Наиболее эффективной технологией изготовления фибробетонных панелей для вентилируемых фасадов зданий является технология Гачека (рис. 3).

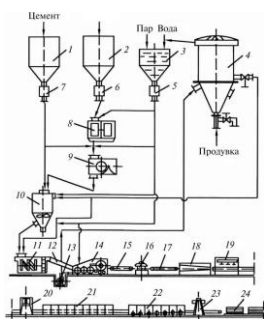


Рис. 3. Технологическая схема производства ФБП по технологии Гачека

1-бункер цемента; 2-бункер целлюлозы; 3-резервный бак с водой; 4-рекуператор; 5,6,7-дозаторы/расходомеры; 8-подогрев и водонасыщение целлюлозы; 9-смешение молотого кварца с целлюлозой; 10-смеситель; 11-ковшовая мешалка; 12-лоток с гомогенизатором; 13-насос; 14-Машина Гачека; 15- приёмный конвейер; 16-обрезка краёв; 17-промежуточный конвейер; 18- водоструйный резчик по размерам; 19- перенос листов и их складирование в стопки; 20-прессование, 21-предварительная выдержка; 22-автоклав; 23-перебор листов; 24-склад готовой продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Писаревский Д.А. Фибробетон и его использование // Аллея науки. 2017. Т.3. №13. С. 482-485.
2. Баженов Ю.М. Технология сухих строительных смесей / Ю.М. Баженов, В.Ф. Коровяков, Г.А. Денисов. - М.: АСВ, 2013. - 96 с.
3. Youssef Ya.W., Larsen O.A., Samchenko S.V., Aleksandrova O.V., Bulgakov B.I. Pozzolanic activity assessment of some mineral additives used in roller compacted concrete for dam construction // 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020. Sofia, 2020. С. 419-426.
4. Самченко С.В., Воронин В.В., Ларсен О.А., Наруть В.В. Самоуплотняющийся бетон с компенсированной усадкой с использованием материалов из бетонного лома // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2021. № 2 (746). С. 71-78.