

ГЛАВА 3 ИССЛЕДОВАНИЕ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ НА ОСНОВЕ ИСПЫТАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ ПРИНЯТЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ РЕШЕНИЙ ОГНЕЗАЩИТЫ ЦЕНТРИФУГИРОВАННОЙ ЖЕЛЕЗОБЕТОННОЙ КОЛОННЫ

3.1 Современные методы огнезащиты и оптимизации производства железобетонных конструкций

На сегодняшний день существует множество способов огнезащиты от температурных воздействий железобетонных изделий, например - конструктивная. Этот способ подразумевает создание надежной огнестойкой преграды непосредственно на несущих элементах зданий и сооружений. В результате применения конструктивной огнезащиты на поверхности железобетонных конструкций образуется термоизоляционный слой, который способен выдерживать высокие температуры и предотвращать их негативное воздействие на структуру железобетона. Довольно простой и эффективный метод конструктивной огнезащиты – это, каркас из огнезащитных плит. Именно этот способ огнезащиты будет рассмотрен в данной работе.

В наше время особое внимание уделяется вопросам оптимизации использования исходных материалов при производстве железобетонных конструкций, что обусловлено стремлением к повышению эффективности и снижению затрат, при этом не в ущерб качеству и долговечности продукции. Путём использования прогрессивных технологий изготовления достигается снижение массы конструкций. Одним из ярких примеров таких прогрессивных подходов является технология центрифугирования, которая находит свое применение в производстве железобетонных изделий [1–5]. В связи с этим, в рамках данной работы внимание будет уделено изучению и анализу железобетонной колонны, полученной именно методом центрифугирования.

3.2 Технология цилиндрической колонны из центрифугированного железобетона.

Развитие центрифугированных железобетонных колонн стало возможным благодаря совершенствованию технологии уплотнения бетона. В середине XX века строительная отрасль столкнулась с необходимостью создания более легких и прочных конструкций, особенно для промышленных зданий и инфраструктуры. Центрифугирование, как метод уплотнения бетона, позволило решить проблему избыточного расхода материалов (экономия до 50% бетона и 30% стали) и повысить прочность изделий в два раза по сравнению с вибрированным бетоном.

Первые центрифугированные ЖБИ использовались в 1950-60-х годах для опор ЛЭП, мостовых свай и эстакад. Их кольцевое сечение обеспечивало устойчивость к ветровым и динамическим нагрузкам. Например, в СССР центрифугированные стойки СВ стали ключевым элементом высоковольтных линий электрической сдачи благодаря универсальности и долговечности.

В 1970-80-х годах технологию адаптировали для колонн одноэтажных производственных зданий. Белорусский институт Белпромпроект разработал серии центрифугированных колонн - Э-1708 и БТ-19.71, которые применялись на Минском тракторном заводе и других предприятиях. Эти колонны имели сборно-монолитную конструкцию с полыми ветвями и монолитной траверсой, что оптимизировало распределение нагрузок.

3.2.1 Виброцентрифугированный бетон.

В 2000-е годы появились работы по виброцентрифугированию — комбинированной технологии, сочетающей вибрацию и центробежные силы.

Основной недостаток при обычном центробежном уплотнении тяжелого бетона заключается в избыточной сепарации шлама, неравномерном распределении компонентов в бетонной смеси (рис 3.1).

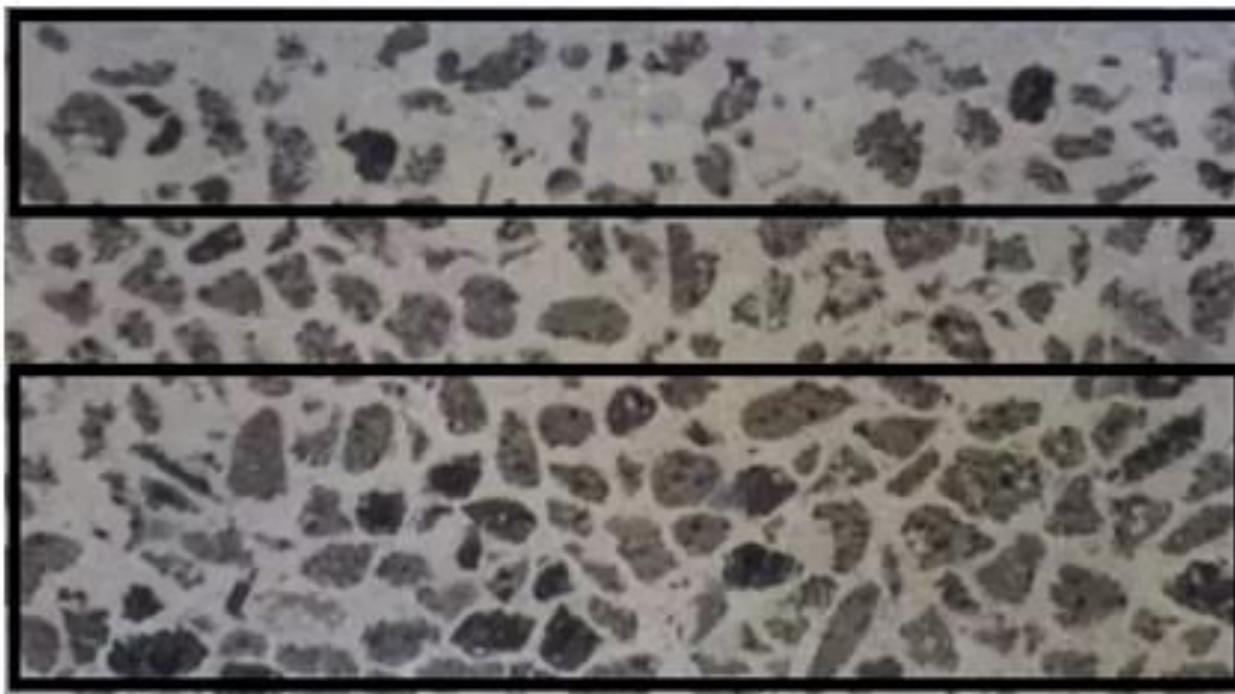


Рисунок 3.1 Распределение тяжелого заполнителя (щебня) при уплотнении методом центрифугирования

Для устранения этого недостатка было предложено применять при изготовлении колонн метод виброцентрифугирования, который в данном случае является комбинированным способом. Эффект вибрации при центрифугировании достигается вибророликом, введенным внутрь формы, или ведущими роликами с насечкой, или специальными неприводными роликами с насечкой, прижимаемыми к форме в процессе ее центрифугирования.

Виброцентрифугированием (при частоте колебания 50 Гц и амплитуде 0,5-0,7 мм) можно формовать изделия кольцевого сечения (колонны) из бетонной смеси при начальном водоцементном отношении (В/Ц), близком к нормальной густоте. При этом вибрацию следует рассматривать только как средство кратковременного разжижения бетонной смеси на стадиях ее распределения и уплотнения под действием центробежного давления.

Влияние способа формирования на механические свойства бетона

Способ формирования	В/Ц	Расход материалов			Предел прочности при сжатии, МПа, в возрасте	
		Ц, кг	П, кг	Щ, кг	7 суток	28 суток
Вибрирование	0,27	440	800	1100	19,4	29,4
	0,26	500	825	1020	23,2	34,4
	0,24	435	795	1070	26,1	38,1
Однослойное центрифугирование	0,27	440	800	1100	26,5	40,6
	0,26	500	825	1020	29,5	46
	0,24	435	795	1070	34,8	49,3
Трехслойное центрифугирование	0,27	440	800	1100	30,2	45,5
	0,26	500	825	1020	35,8	55,2
	0,24	435	795	1070	41,2	60,1
Виброцентрифугирование (частота колебаний 50 Гц)	0,27	460	715	1180	43,5	59
	0,26	440	680	1200	46,6	64,6
	0,24	420	688	1220	52,8	69,6

Зависимость предела прочности при сжатии от В/Ц при различных способах формирования представлена на рисунке 3.2.

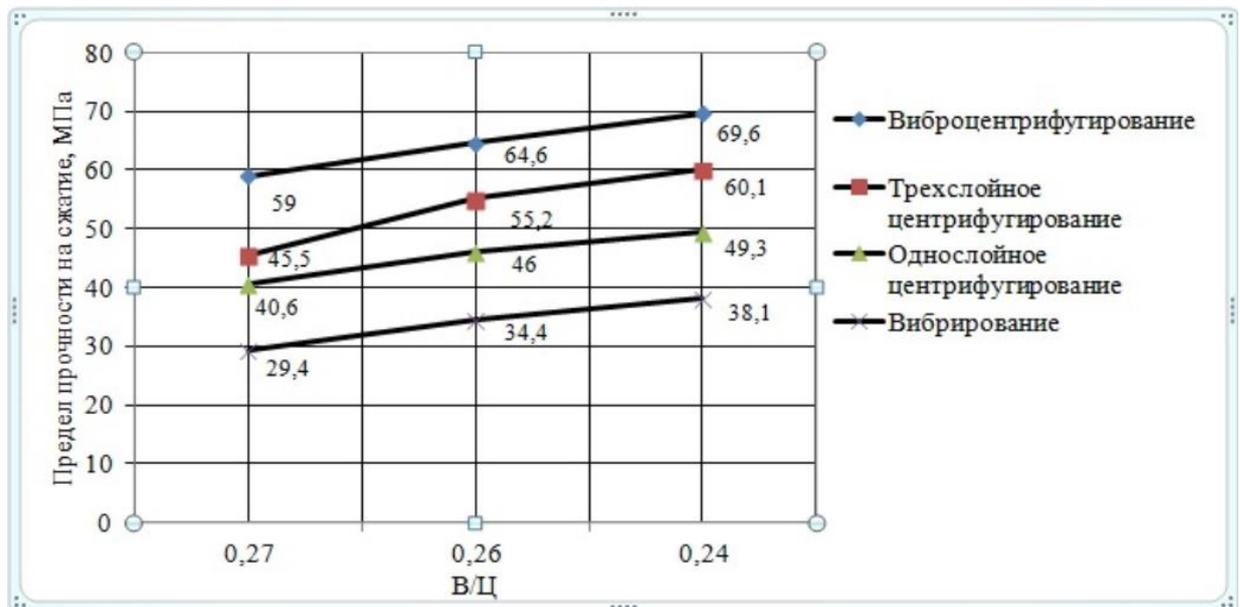


Рисунок 3.2 Сравнительный анализ различных методов формирования по наибольшему пределу прочности при сжатии

Анализ показал, что, как видно из таблицы 1, наименьшую прочность демонстрирует бетон, подвергнутый вибрированию. Значительно большей прочностью (на 29 %) обладает бетон, полученный при однослойном центрифугировании. Еще большую прочность (на 58 % по отношению к прочности вибрированного и на 22 % по отношению к прочности однослойно центрифугированного) имеет бетон при трехслойном центрифугировании. И, безусловно, лучшие показатели демонстрирует бетон, изготавливаемый по рекомендуемой технологии виброцентрифугирования (на 83 %, 41 % и 16 % по отношению к прочности вибрированного, однослойно и трехслойно центрифугированного).

Таким образом, удалось убедиться, что метод виброцентрифугирования улучшает структурообразование бетона, отжимает большее количество влаги при формировании и, в конечном итоге, повышает прочность бетона намного более существенно, чем вибрирование, однослойное и трехслойное центрифугирование, демонстрируя тем самым свою безусловную

эффективность по сравнению с другими способами.

3.3 Конструктивная огнезащита железобетонных колонн с применением негорючих плит: минеральная вата, вермикулит и гипсокартон

Основой для исследования доступных решений конструктивной огнезащиты железобетонных колонн и определения их эффективности является применение плит из негорючих материалов, которые крепятся к поверхности конструкции и обеспечивают огнезащиту, являясь одним из наиболее эффективных способов повышения огнестойкости железобетонных колонн.

Эти панели изготавливаются из различных материалов, наиболее распространенные из них это - негорючая минеральная вата, вермикулит или негорючий гипс. Рассмотрим каждый материал подробно:

Негорючая минеральная вата изготавливается из базальтовых горных пород и применяется в системе с противопожарными герметиками, подходит для теплоизоляции железобетонных конструкций и заделки деформационных (конструкционных швов) проходов коммуникаций через стены и перекрытия.

Вермикулитовые плиты изготавливаются из сухой смеси, содержащей кремневермикулит, жидкое стекло и другие компоненты. Они обладают высокой плотностью и прочностью, а также экологической безопасностью. Эти плиты легко монтируются на любые поверхности, в том числе на металлические, методом торкретирования. Они способны выдерживать температуры до 1100 градусов и обеспечивают надежную защиту от тепла, огня и шума.

Негорючие гипсовые плиты состоят из негорячего гипсового сердечника, все плоскости которого кроме торцевых кромок, облицованы негорячим стеклохолстом. применяется для облицовки стен, устройства перегородок и монтажа подвесных потолков в зданиях и помещениях, где необходимо применение негорючих материалов, например, на путях

эвакуации, а также для конструктивной огнезащиты несущих конструкций, кабель- и вентканалов.

В связи с тем, что негорючие гипсовые плиты сочетают в себе доступность (дешевле вермикулитовых и некоторых базальтовых плит (на 15–30%), простоту использования и высокие противопожарные характеристики - это делает их оптимальным выбором для массового строительства. Поэтому в своей работе я буду рассматривать негорючие гипсовые плиты Knauf Fireboard.

3.4 Оценка эффективности негорючих гипсовых плит для огнезащиты железобетонных колонн на основе экспериментальных данных

Для того чтобы определить целесообразно ли использовать негорючие гипсовые плиты для железобетонных колонн, требуется обратиться к проведенным опытам огнестойкости железобетонных колонн без конструктивной огнезащиты. На основе опыта, проведенного в данной статье [6], были получены следующие результаты:

Характер изменения температуры бетона на обогреваемой и необогреваемой поверхности колонны, а также на арматуре в процессе испытания представлен на рисунке 3.3. Хрупкое взрывообразное разрушение бетона в ходе испытания не зафиксировано.

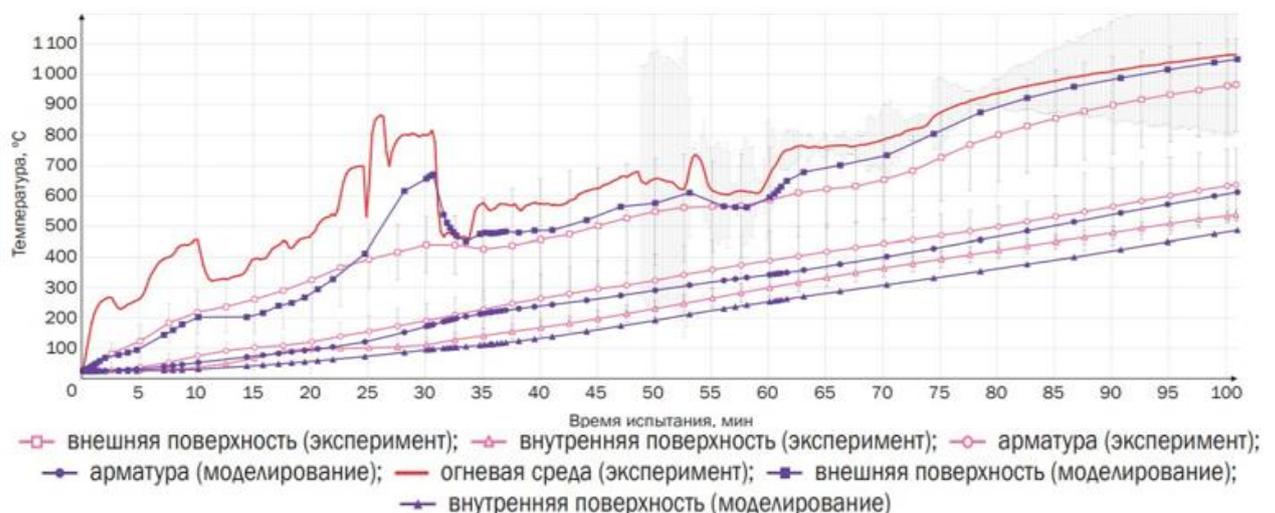


Рисунок 3.3 Значения экспериментальных и расчетных температур

На 90-й минуте огневого испытания образца № 1 температура, зарегистрированная термоэлектрическими преобразователями, установленными на арматуре, составила $(514...616) \pm 4$ °С; установленными на обогреваемой поверхности бетона, $-(826...947) \pm 6$ °С; установленными на необогреваемой поверхности бетона, $-(479...493) \pm 3$ °С.

Для ненагруженных центрифугированных железобетонных колонн было выявлено трещинообразование вследствие протекающих процессов в структуре бетона при его нагреве, а также различия в температурном расширении бетона и арматуры. Вместе с тем сквозное трещинообразование не наблюдали. Приложение силовой нагрузки, как показали результаты исследований [7, 8], способствует более раннему, в том числе сквозному трещинообразованию, в результате чего продукты горения проникают в полость конструкции, и становится возможен нагрев ими конструкции изнутри, что непременно приводит к преждевременной утрате конструкцией своих функций.

Исходя из полученных результатов данного опыта можно сделать вывод, что для железобетонной колонны влияние высокой температуры при длительном нагреве, влечет к сквозному трещинообразованию в результате чего становится возможен нагрев конструкции изнутри, что непременно приводит к преждевременной утрате конструкцией своих функций.

3.5 Экспериментальное исследование огнестойкости центрифугированных железобетонных колонн с гипсовой огнезащитой Knauf Fireboard

Исходя из результатов предыдущего испытания, считаю целесообразным провести исследование на длительный нагрев центрифугированной железобетонной колонны в условиях пожара, основой для которого будет являться конструктивная огнезащита центрифугированных железобетонных колонн, состоящая из негорючих гипсовых плит Knauf Fireboard. Аналогичный опыт об огневых испытаниях

железобетонных центрифугированных колонн с конструктивной огнезащитой был ранее проведён в данной работе - [9].

С помощью программного комплекса ELCUT, испытанию подверглись три образца без статической нагрузки. В качестве образцов для испытаний использовались полые центрифугированные железобетонные колонны, наружным диаметром 560 мм, с толщиной стенки 55 мм, армированных пространственным каркасом, состоящим из 7 равномерно распределенных по окружности стержней класса S500 диаметром 12 мм и приваренной к ним поперечной спиральной арматуры из проволоки В-1, диаметром 4 мм. Толщина защитного слоя бетона во всех случаях составила 20 мм. Длина образцов составляла 1500 ± 10 мм.

Образец № 1 испытывался без огнезащиты; Образец № 2 с конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard толщиной 12,5 мм; Образец № 3 также имел конструктивную огнезащиту толщиной 12,5 мм из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard, но при этом в полость между каркасом огнезащиты и самой колонной была добавлена каменная вата.

Заданные параметры материалов для образцов №1 - №3:

Свойства метки блока - Бетон

Общие

Теплопроводность

$\lambda_x = 1.5$ (Вт/К·м)

$\lambda_y = 1.5$ (Вт/К·м)

Нелинейный материал Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 840 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 2400$ (кг/м³)

Координаты

Декартовы Полярные

OK Отмена Справка

Рисунок 3.4 Общие параметры бетона марки М200 В15

Свойства метки блока - Арматура

Общие

Теплопроводность

$\lambda_x = 50$ (Вт/К·м)

$\lambda_y = 50$ (Вт/К·м)

Нелинейный материал Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 500 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 7850$ (кг/м³)

Координаты

Декартовы Полярные

OK Отмена Справка

Рисунок 3.5. Общие параметры стержней класса S500

Свойства метки блока - винты

Общие

Теплопроводность

$\lambda_x = 60$ (Вт/К·м)

$\lambda_y = 60$ (Вт/К·м)

Нелинейный материал Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 450 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 7850$ (кг/м³)

Координаты

Декартовы Полярные

OK Отмена Справка

Рисунок 3.6. Общие параметры самонарезающих винтов и анкерных изделий

Свойства метки блока - металлокаркас

Общие

Теплопроводность

$\lambda_x = 60$ (Вт/К·м)

$\lambda_y = 60$ (Вт/К·м)

Нелинейный материал Анизотропный материал

Объемная плотность тепловыделения

Q = 0 (Вт/м³) **f**

Зависит от температуры

Данные для переходных процессов

C = 500 (Дж/кг·К)

Зависит от температуры

$\rho = 7850$ (кг/м³)

Координаты

Декартовы Полярные

OK Отмена Справка

Рисунок 3.7. Общие параметры каркаса из стальных оцинкованных профилей

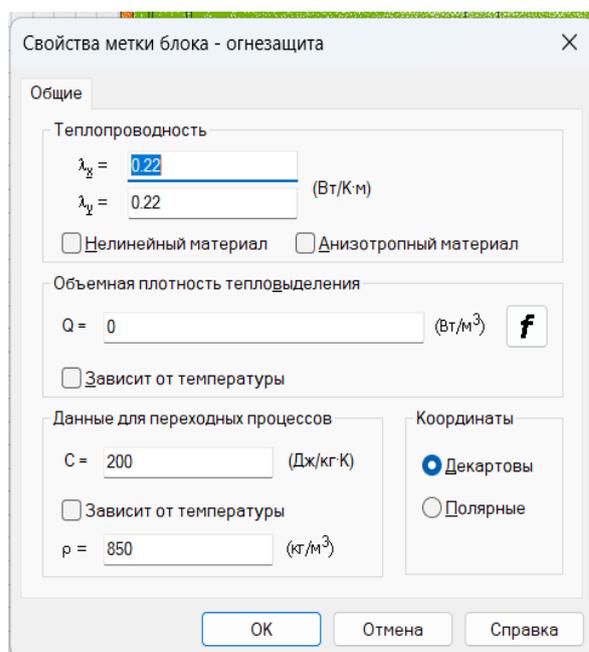


Рисунок 3.8. Общие параметры
Knauf Fireboard

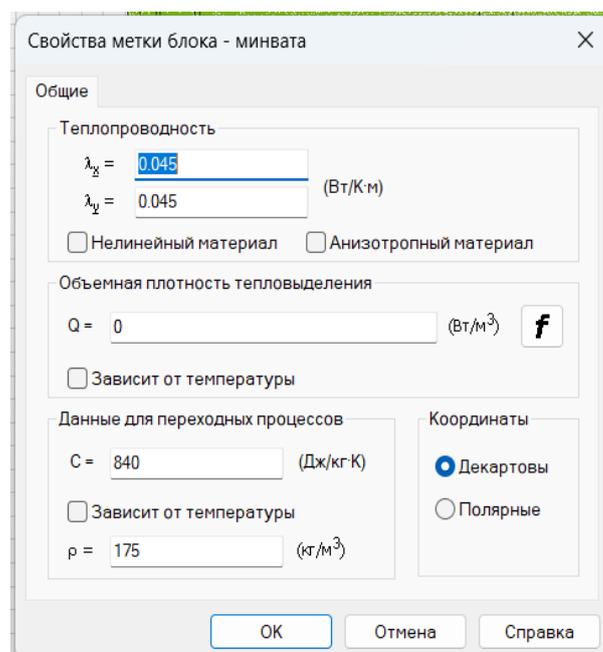


Рисунок 3.9. Общие параметры
каменной ваты

Для железобетонной колонны, испытываемых образцов использовался бетон марки М200 В15, плотностью 2400 кг/м³, теплопроводностью 1,5 Вт/Км и удельной теплоёмкостью 840 Дж/кгК. Для арматуры применялись стержни класса S500 плотностью 7850 кг/м³, теплопроводностью 50 Вт/Км и удельной теплоёмкостью 500 Дж/кгК. Для огнезащиты были применены гипсовые плиты Knauf Fireboard плотностью 850 кг/м³, теплопроводностью 0,22 Вт/Км и удельной теплоёмкостью 200 Дж/кгК. В качестве заполнителя полости между огнезащитой и колонной применена каменная вата плотностью 175 кг/м³, теплопроводностью 0,045 Вт/Км и удельной теплоёмкостью 840 Дж/кгК. Каркас для крепления огнезащитных плит Knauf Fireboard был выполнен из стальных оцинкованных профилей.

В самом программном комплексе ELCUT были разработаны модели железобетонных центрифугированных колон для трёх образцов без огнезащиты, с огнезащитой и огнезащитой с заполнителем из каменной ваты.

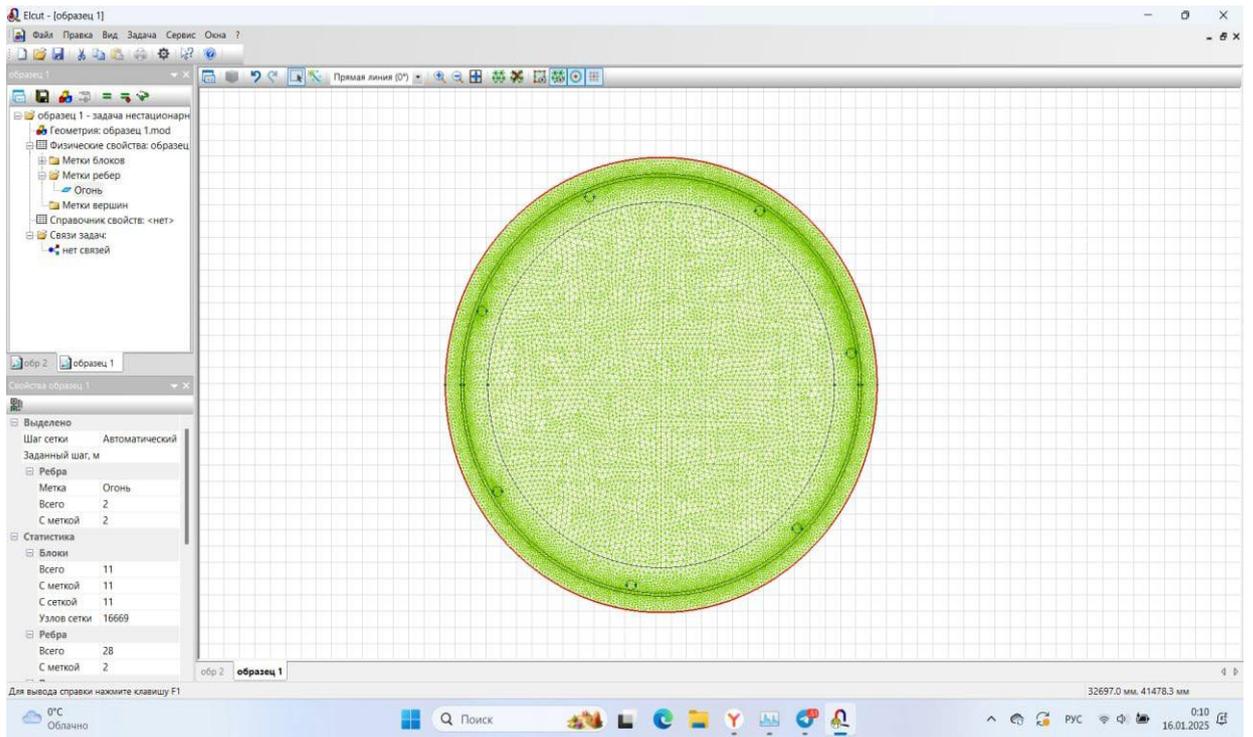


Рисунок 3.10. Модель образца №1

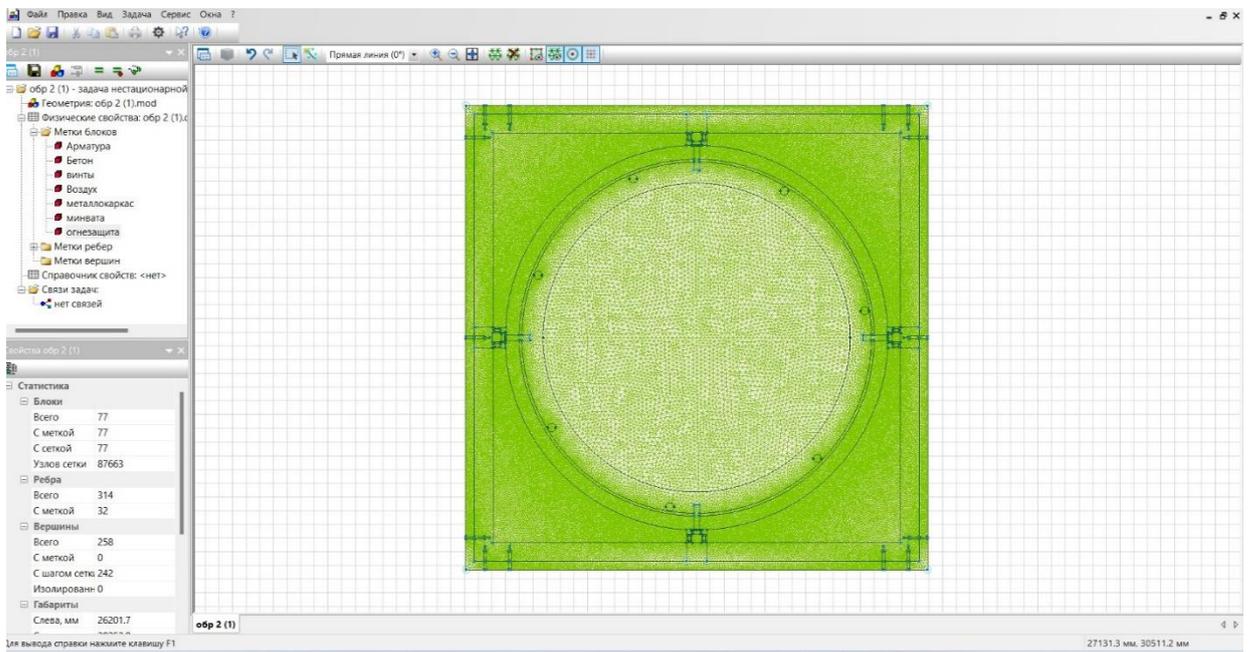


Рисунок 3.11. Модель образца №2 с конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard

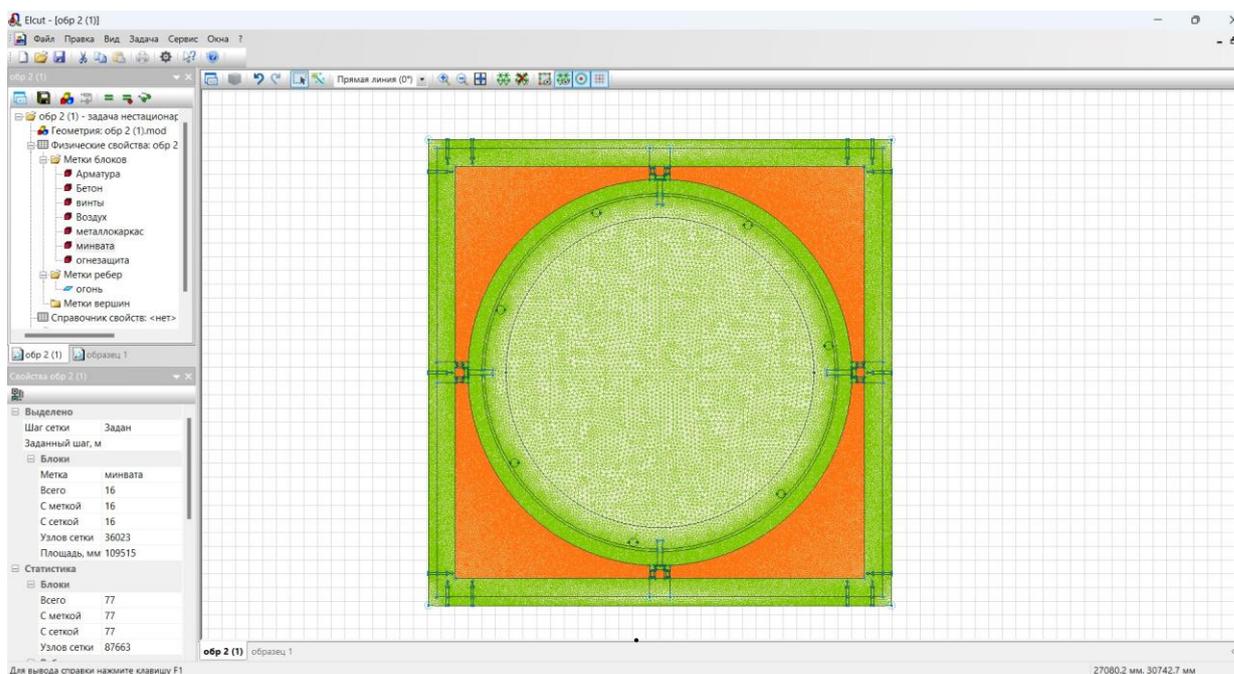


Рисунок 3.12. Модель образца №3 с конструктивной огнезащитой из огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard и заполнением из каменной ваты

Исходная температура испытуемых образцов равнялась 20 °С. Образцы подвергались равномерному тепловому воздействию по всему наружному периметру огнезащитной конструкции на протяжении 200 минут. Температура нагрева составила 1100 °С.

Образец №1. Моделирование показало, что при нагреве в условиях пожара защитный слой из бетона полностью подвергается прогреву, что является разрушительным, т.к. при температуре выше 300 °С, бетон марки М200 начинает резко терять прочность, согласно СП 70.13330.2012 Несущие и ограждающие конструкции. Актуализированная редакция СНиП 3.03.01-87 (с Изменениями N 1, 3-6). (рис. 3.13). Локальное значение температуры в арматурном поясе составило 214.28 °С, в продольной арматуре - 134.81 °С (рис. 3.14), (рис. 3.15). Повышение температуры в арматурном каркасе непременно приведет к постепенному удлинению (ползучести), что создаст микропустоты в металле, и в конечном счёте возникнет разрыв.

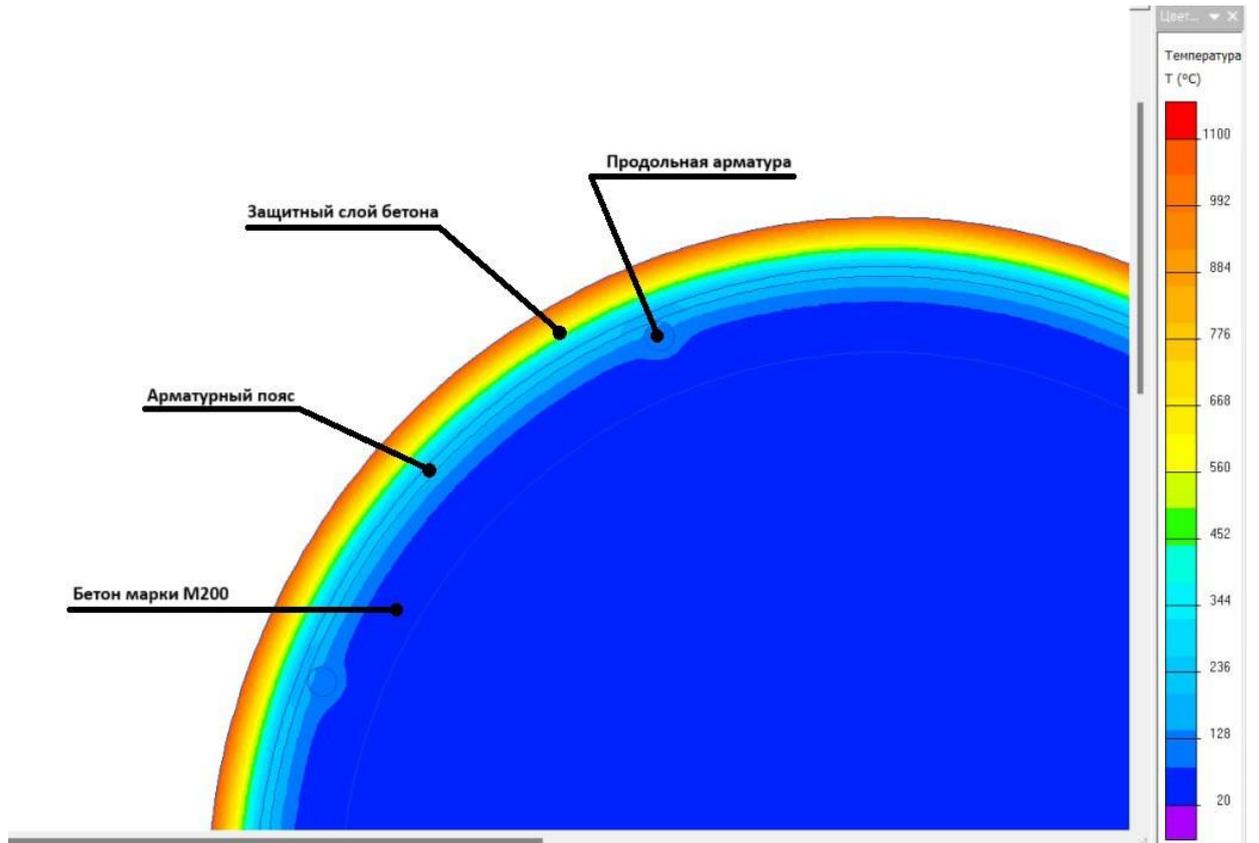


Рисунок 3.13. Модель образца №1. Нагрев 1100°C в теч. 200 мин

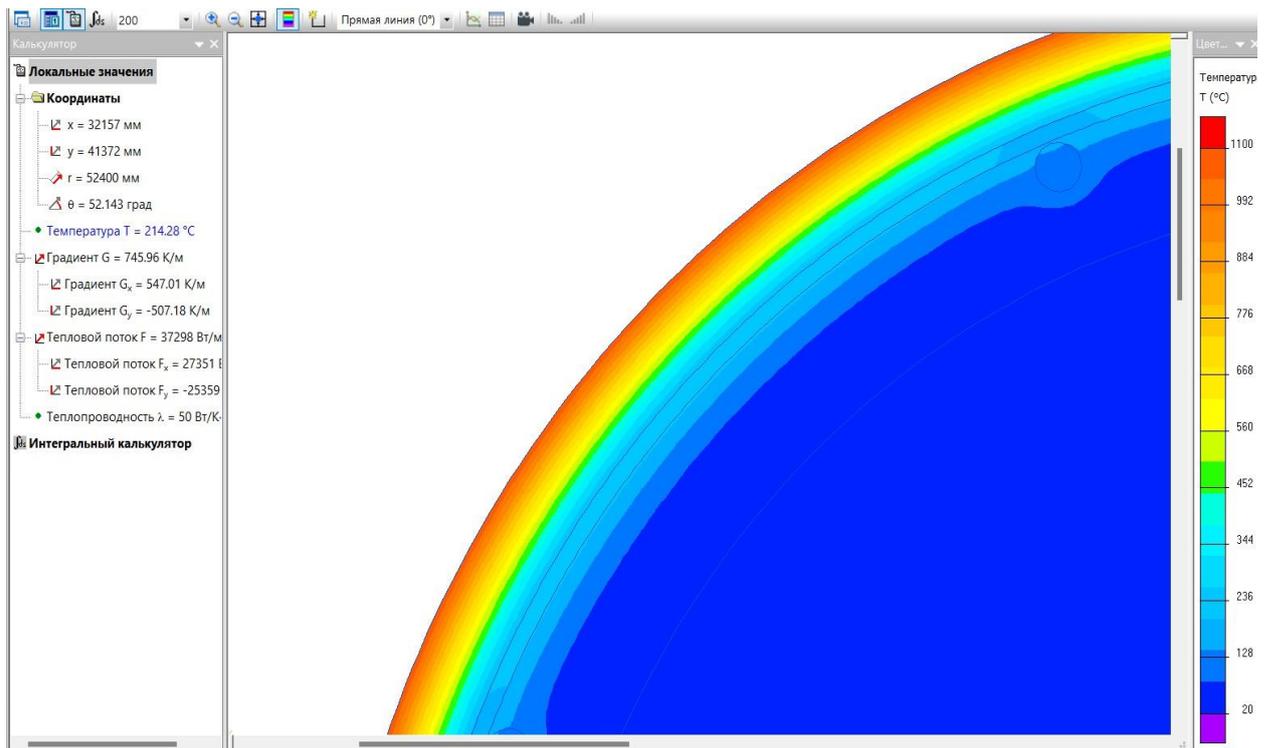


Рисунок 3.14. Модель образца №1. Локальное значение температуры в арматурном поясе – 214.28 °C

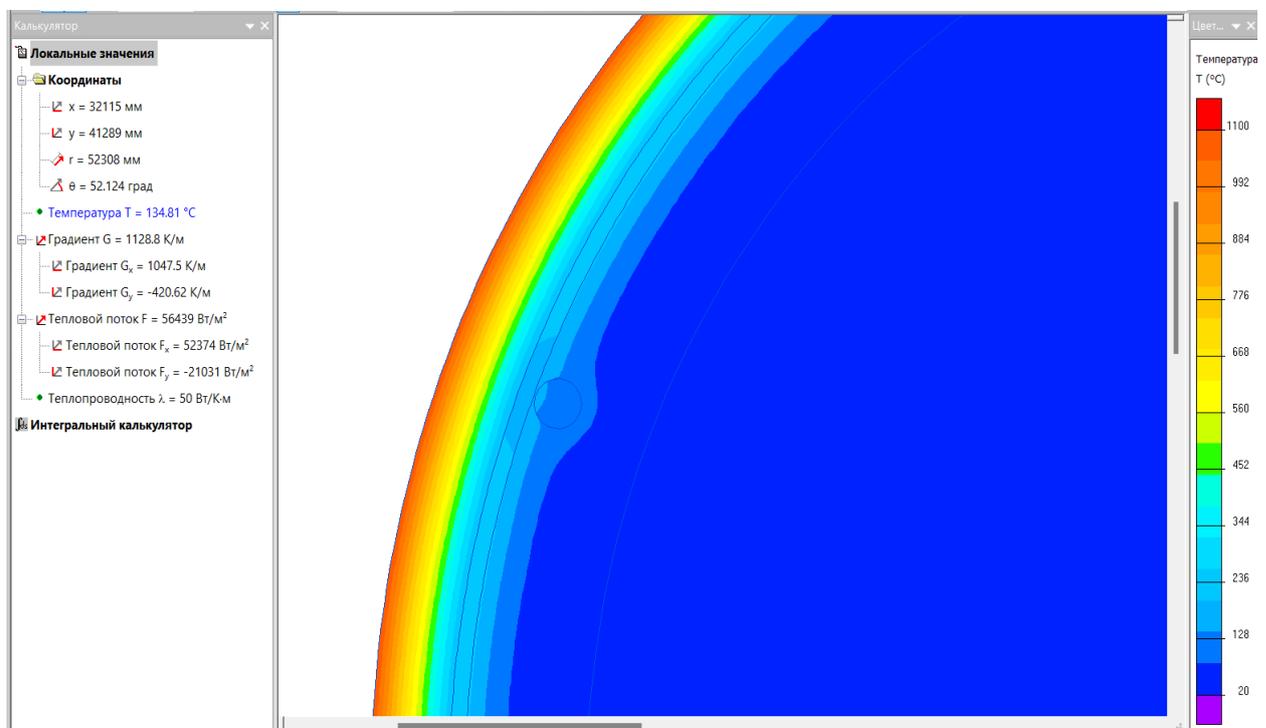


Рисунок 3.15. Модель образца №1. Локальное значение температуры в продольной арматуре – 134.81 °C.

Образец №2. Моделирование прогрева, с выбранным для данного образца вариантом огнезащиты с помощью огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard (рис. 3.16), показало, что при нагреве тепловая энергия сосредоточивается в местах соединений гипсовых плит, что приводит к проникновению тепла вглубь конструкции к колонне. Так же стоит заметить, что температура нагрева воздушной прослойки и каркаса между железобетонной колонной и огнезащитным листом колеблется в диапазоне от 20 °С до 350 °С, при этом температура самой железобетонной колонны практически не изменяется, оставаясь на уровне 20 °С. В местах стыка стальных профилей температура составила 476.88 °С, в месте фиксации самореза в защитный слой бетона температура - 100.4 °С (рис. 3.17), (рис. 3.18).

Это даёт возможность убедиться в том, что железобетонная колонна, с огнеупорной гипсовой плитой, практически полностью сохраняет свою изначальную температуру и не подвергается нагреву при пожаре.

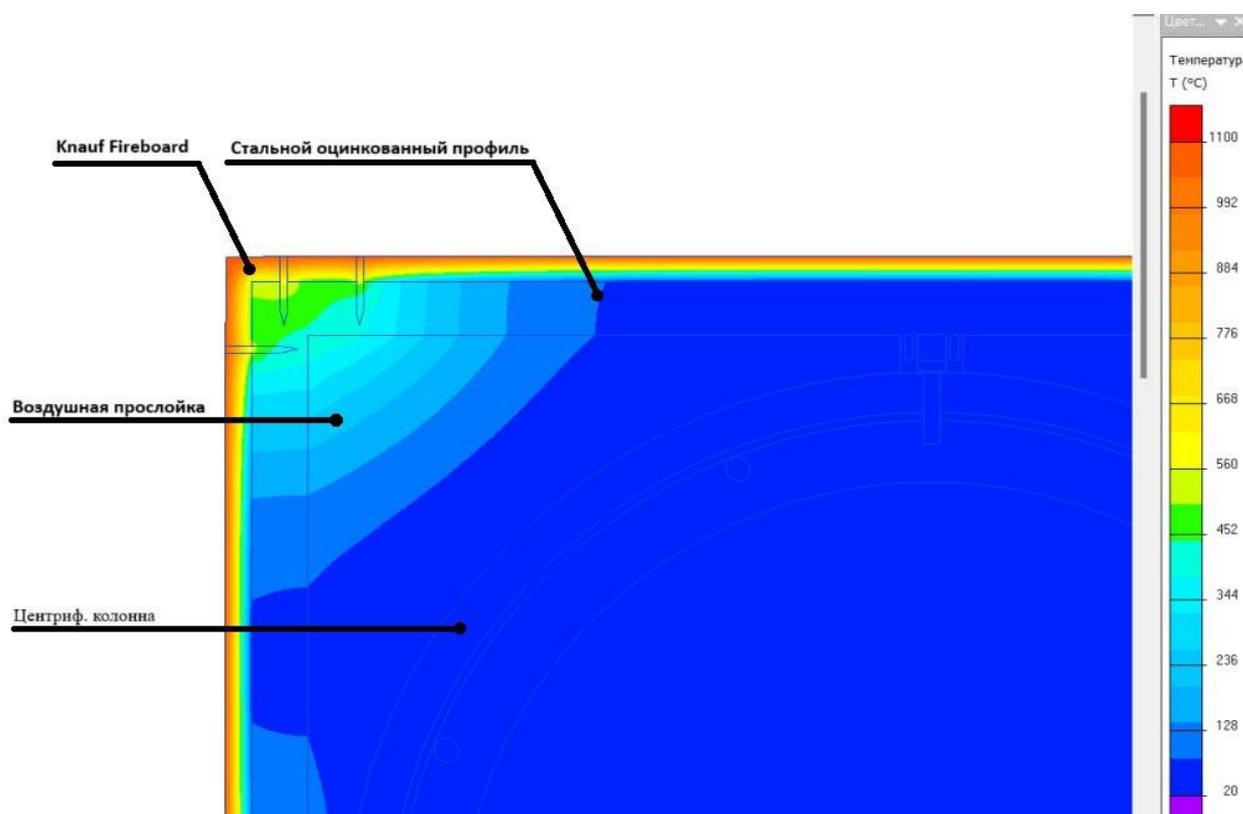


Рисунок 3.16. Модель образца №2. Нагрев 1100°C в теч. 200 мин.

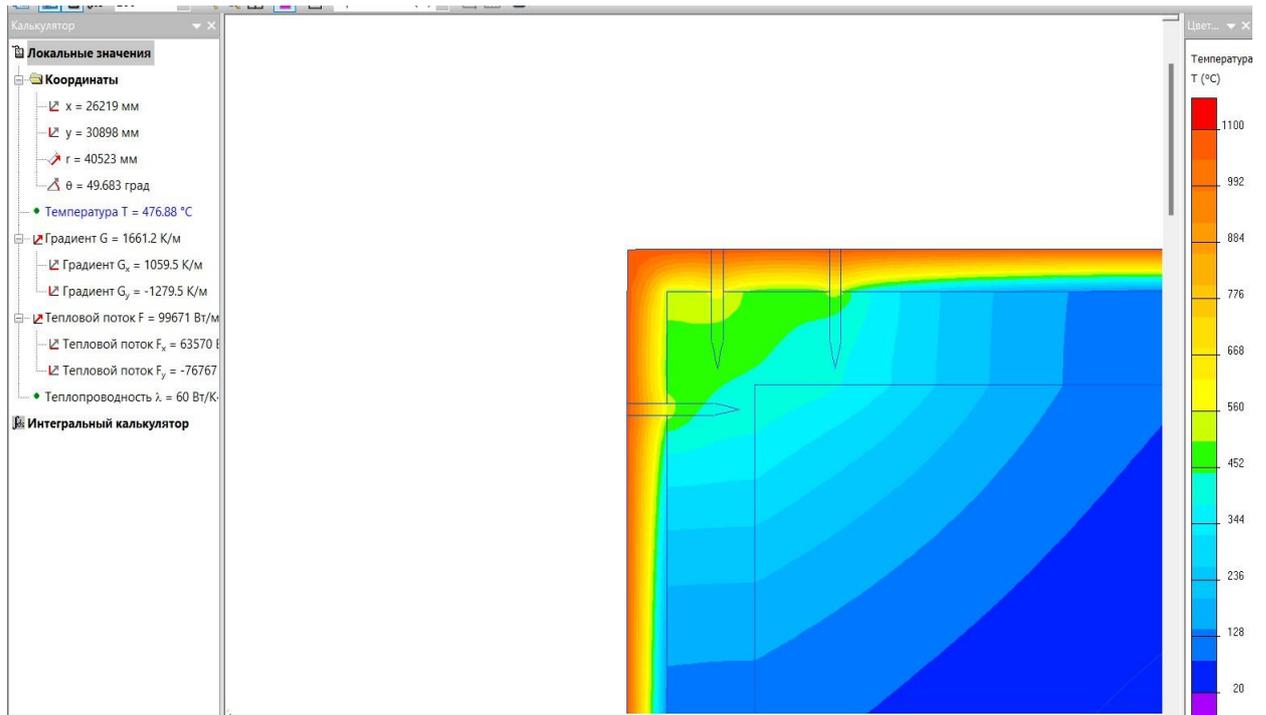


Рисунок 3.17. Модель образца №2. Локальное значение температуры в стальном оцинкованном профиле (зелёное пятно) – 476.88 °C

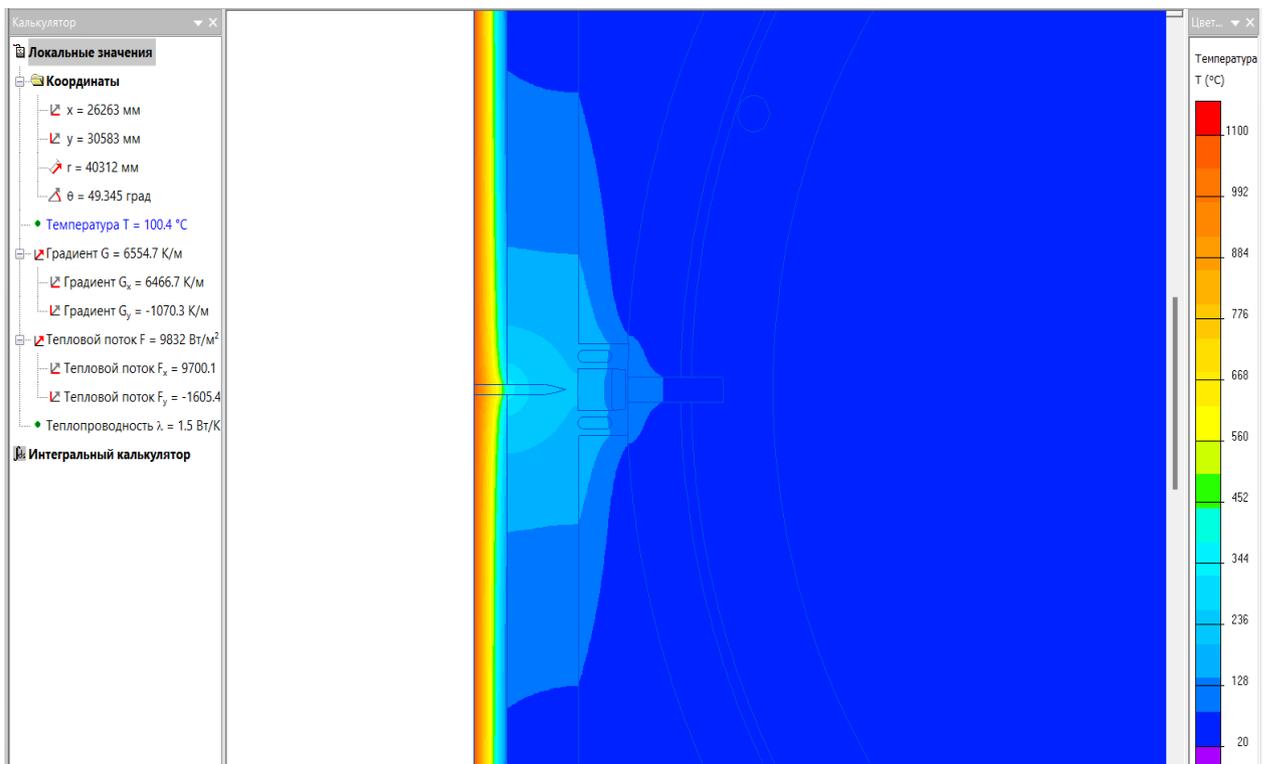


Рисунок 3.18. Модель образца №2. Локальное значение температуры в защитном слое из бетона – 100.4 °C

Образец №3. Моделирование прогрева, с выбранным для данного образца вариантом огнезащиты с помощью огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard и заполнением из каменной ваты (рис. 3.19), показало, что при нагреве в условиях пожара тепло точно также распределяется по площади огнезащитного листа, концентрируясь в стыках гипсовых плит. Визуально результаты испытания Образца №3 абсолютно схожи с результатами Образца №2, но при этом, не трудно заметить, что в месте где проглядывается очертание заполнителя из каменной ваты температура устойчиво держится на уровне, не превышающем 400 °С. В местах стыка стальных профилей температура составила 476.81 °С, в месте фиксации самореза в защитный слой бетона температура - 95.85 °С (рис. 3.20), (рис. 3.21).

В условиях продолжительного горения, такой комбинированный способ огнезащиты положительно отразится на времени, при котором каркас будет держаться в своем проектном положении, не позволяя нагреться железобетонной колонне.

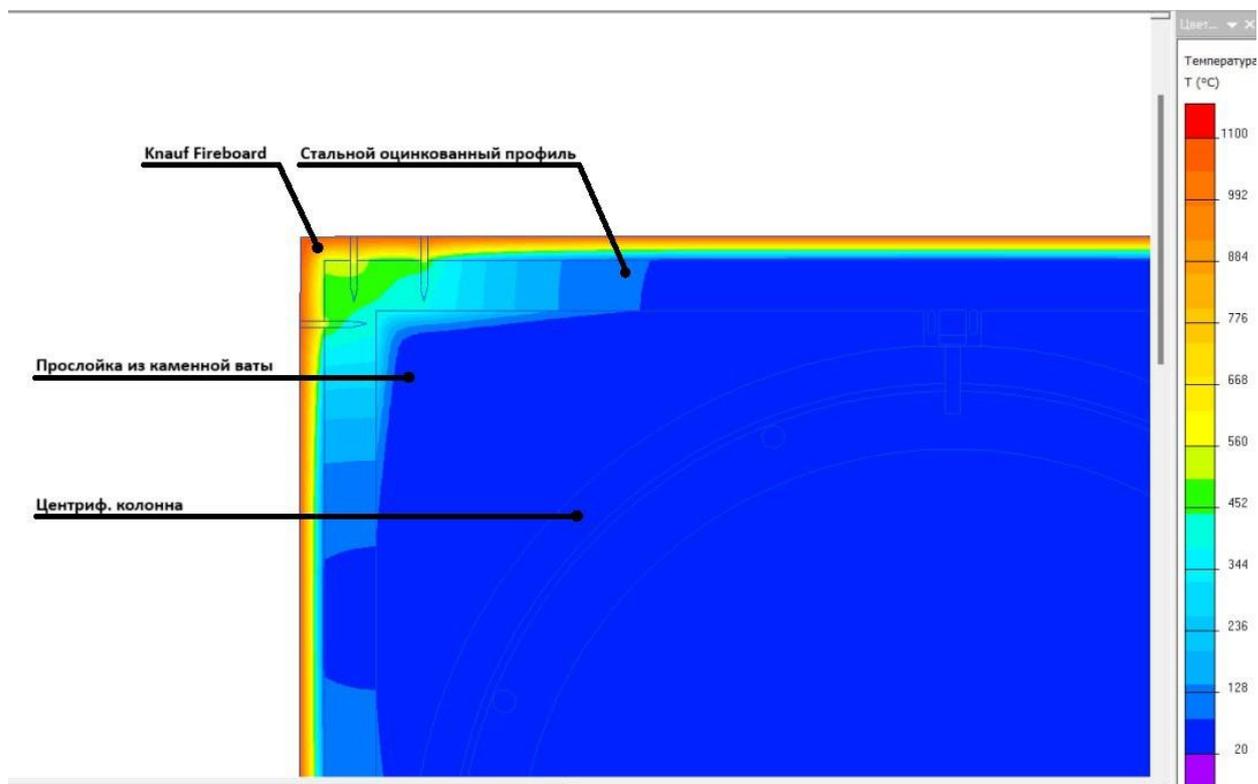


Рисунок 3.19. Модель образца №3. Нагрев
1100°C в теч. 200 мин.

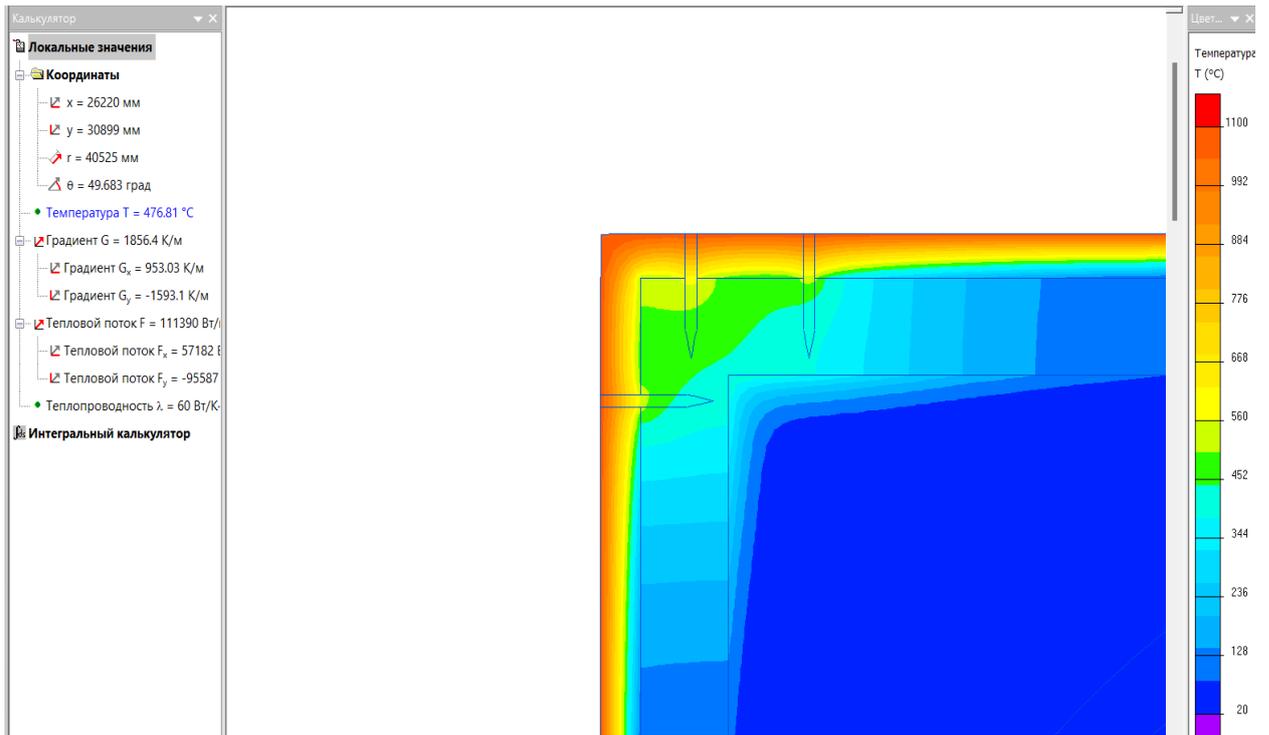


Рисунок 3.20. Модель образца №3. Локальное значение температуры в стальном оцинкованном профиле (зелёное пятно) – 476.81 °C

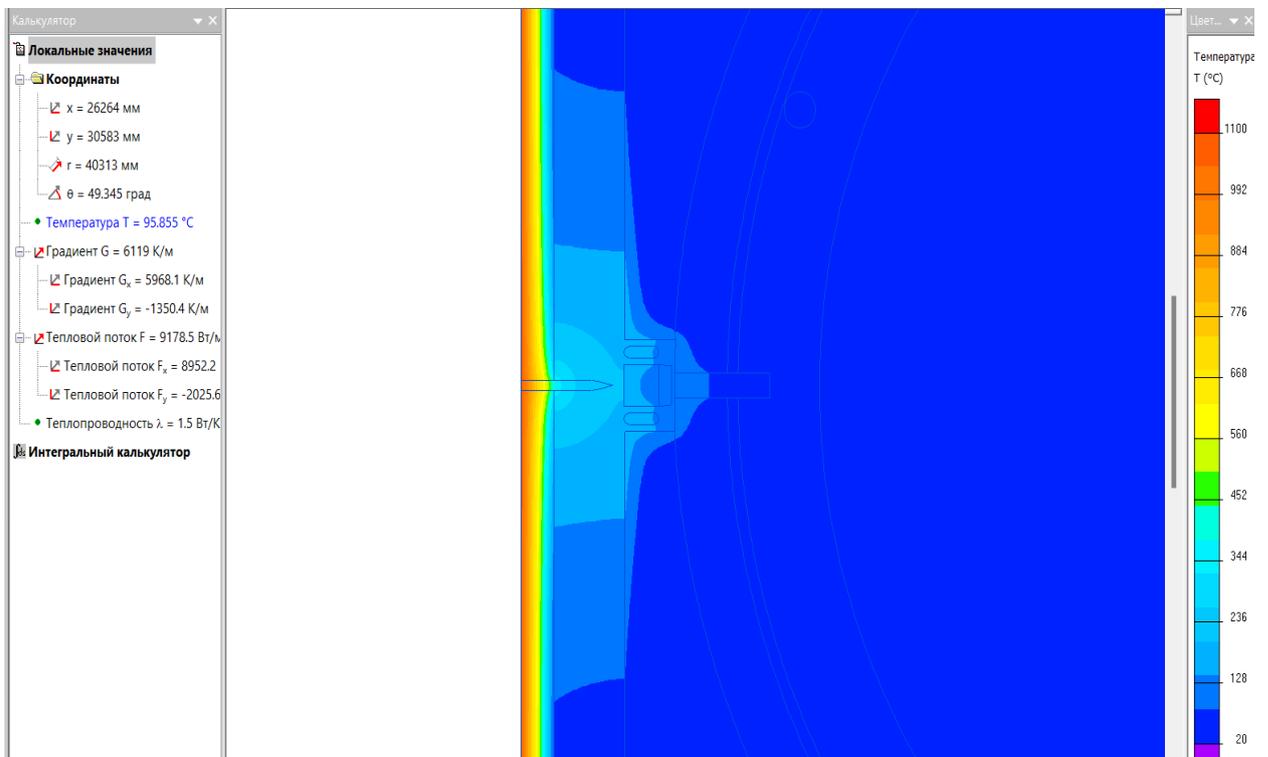


Рисунок 3.21. Модель образца №3. Локальное значение температуры в защитном слое из бетона – 95.85 °C

3.6 Сравнительный анализ и практические рекомендации по выбору конструктивной огнезащиты центрифугированных железобетонных колонн.

Оценка результатов испытаний трёх образцов.

На основании проведённых испытаний в программном комплексе ELCUT были получены следующие результаты:

Образец №1 (без огнезащиты):

1. При нагреве до 1100°C в течение 200 минут защитный слой бетона полностью прогрелся, что привело к критическому снижению прочности (температура в арматурном поясе достигла 214.28°C, в продольной арматуре - 134.81°C).
2. Бетон марки М200 начал разрушаться уже при 300°C, что подтверждает необходимость дополнительной огнезащиты.

Образец №2 (огнезащита Knauf Fireboard, 12.5 мм):

1. Температура железобетонной колонны оставалась на уровне 20°C, что свидетельствует о высокой эффективности гипсовых плит.
2. Нагрев концентрировался в местах стыков плит и металлокаркаса (до 476.88°C), но не передавался на колонну.

Образец №3 (огнезащита Knauf Fireboard + каменная вата):

1. Показал схожие с Образцом №2 результаты, но с дополнительным снижением температуры в зоне заполнителя (не выше 400°C).
2. Температура в защитном слое бетона составила 95.85°C, что на 4.55°C меньше, чем у Образца №2.

Заключение:

Наилучшие результаты показал Образец №3, так как комбинированная защита (гипсовая плита + каменная вата) обеспечила более равномерное распределение тепла и дополнительное снижение температуры.

Сравнение целесообразности применения Образцов №2 и №3 в строительстве.

Для выбора оптимального варианта проведём анализ по трём критериям:

Таблица 3.1.

Параметр	Образец №2 (Knauf Fireboard)	Образец №3 (Knauf Fireboard + каменная вата)
Стоимость (2025 г.)	1200 руб./м ²	1600 руб./м ² (+33%)
Монтаж	Простой (крепление на каркас)	Усложнён из-за укладки ваты
Огнестойкость	R180	R180 (с улучшенной теплоизоляцией)
Температура бетона	≤100.4°C	≤95.85°C

Расчёт экономической эффективности:

Для колонны высотой 3 м и диаметром 0.56 м (площадь защиты ≈ 5.3 м²):

Образец №2: 5.3 м² × 1200 руб. = 6360 руб.

Образец №3: 5.3 м² × 1600 руб. = 8480 руб. (+2120 руб.)

Заключение:

- Для объектов с стандартными требованиями (жилые здания, офисы) целесообразно использовать Образец №2 из-за меньшей стоимости и простоты монтажа.

- Для промышленных объектов (АЭС, нефтехранилища) предпочтителен Образец №3, так как дополнительная теплоизоляция ваты снижает риски локального перегрева.

Пример расчёта теплопередачи:

Упрощённая оценка теплового потока через огнезащиту:

Для Образца №2:

- Теплопроводность гипса (λ) = 0.22 Вт/м·К
- Толщина (d) = 0.0125 м
- Разница температур (ΔT) = 1100°C – 20°C = 1080°C
- Тепловой поток:

$$q = \frac{\lambda \cdot \Delta T}{d} = \frac{0,22 \cdot 1080}{0,0125} = 19008 \text{ Вт/м}^2$$

Для Образца №3 (с учётом ваты $\lambda = 0.045$ Вт/м·К, d = 0.05 м):

$$q_{\text{total}} = \frac{1080}{\frac{0,0125}{0,22} + \frac{0,05}{0,045}} = 8640 \text{ Вт/м}^2$$

Результат: Комбинированная защита снижает теплопередачу в 2.2 раза.

Заключение:

- Наиболее эффективен — Образец №3 (Knauf Fireboard + каменная вата), демонстрирующий лучшую теплоизоляцию и стабильность при длительном нагреве.
- Наиболее выгоден — Образец №2 (Knauf Fireboard), оптимальный по соотношению цены, монтажа и огнестойкости для большинства зданий.
- Рекомендация: Для критически важных объектов использовать комбинированную защиту (№3), в остальных случаях — гипсовые плиты (№2) с пределом огнестойкости R180.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В основе своей, проведенная работа подчеркивает необходимость разработки эффективных методов огнезащиты для вертикальных несущих конструкций, особенно центрифугированных железобетонных колонн. Исторический опыт и современные исследования показывают, что сочетание пассивных и активных мер огнезащиты, а также использование инновационных материалов (например, гипсовых плит Knauf Fireboard) могут значительно повысить огнестойкость конструкций. Однако для достижения максимальной эффективности требуется учет специфики материалов и условий эксплуатации.

Основываясь на проведенных выше экспериментах с нагревом железобетонных центрифугированных колонн с различными вариантами конструктивной огнезащиты, можно сделать вывод, что огнестойкие гипсовые плиты Knauf Fireboard являются эффективным способом обеспечения огнезащиты железобетонных конструкций и позволяют значительно снизить температуру бетона и арматуры в защищаемых конструкциях. Конструктивная огнезащита в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard представленная в Образце №2, подходит для объектов со стандартными требованиями, например, жилые здания и офисы, из-за меньшей стоимости и простоты монтажа. В свою очередь, конструктивная огнезащита в виде огнестойких гипсовых плит Knauf Fireboard с каменной ватой, представленная в Образце №3, больше подходит для промышленных объектов, таких как: АЭС, нефтехранилища и пр., обеспечивая дополнительную теплоизоляцию ватой, а также снижение рисков локального перегрева.

При этом оба образца позволяют обеспечить пределы огнестойкости железобетонных стрелевых конструкций до максимально нормируемых пределов огнестойкости в Российской Федерации - R180.