



АСЭ
РОСАТОМ



ОРГЭНЕРГОСТРОЙ

*VI научно-практическая конференция
«АтомСтройСтандарт-2025»*

Применение сталежелезобетонных конструкций с внешним листовым армированием для строительства АЭС

Главный эксперт ЦТТиТП, руководитель проекта
АО «Атомстройэкспорт»
Дулькин Александр Борисович

Первый зам. руководителя ЦФО «Наука и технологии»
АО «Институт «Оргэнергострой»
Коротких Дмитрий Николаевич

НИР по теме: «Опытно-экспериментальное обоснование и нормативно-методическое обеспечение применения при строительстве АЭС сталежелезобетонных конструкций с внешним листовым армированием»

Договор №007/32018-Д от 11.01.2024 г.

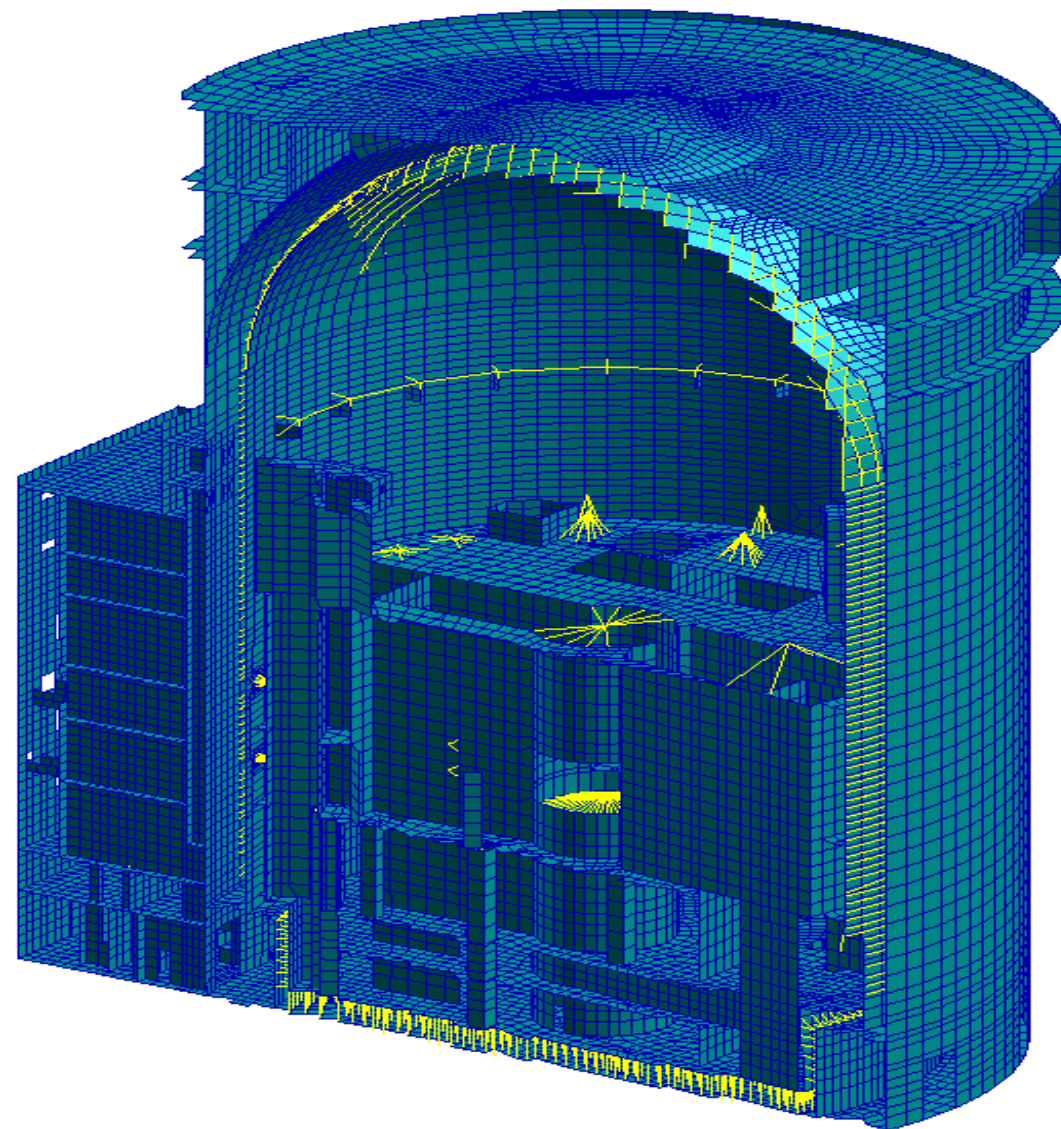
Сроки выполнения работ:

Начало – 11.01.2024

Окончание – 11.01.2026

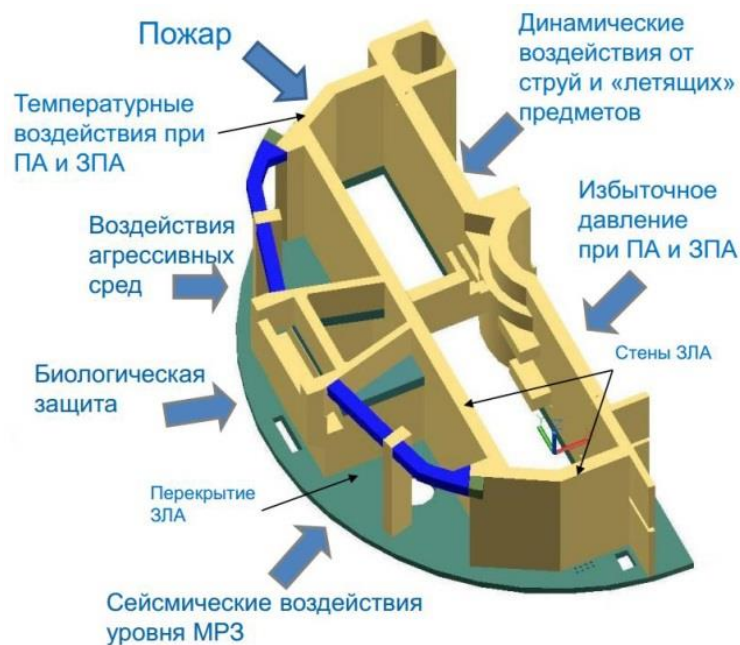
Всего этапов работ 20

Рассматриваются строительные конструкции гермообъема реакторного здания АЭС

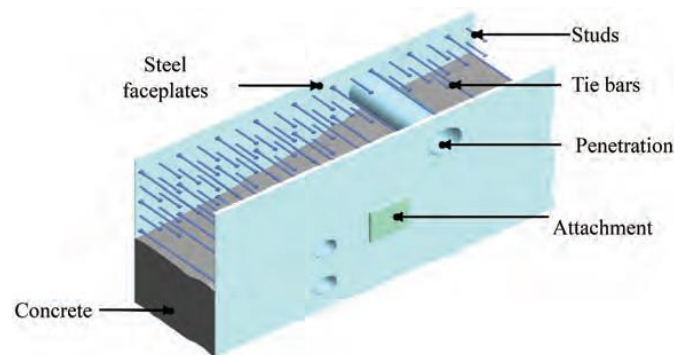


СЕЙЧАС

Нормативная база РФ и международные нормы не позволяют проектировать и рассчитывать железобетонные конструкции, имеющие совмещенное армирование в виде стержневой и листовой арматуры на комплекс аварийных, пожарных и сейсмических воздействий



РЕШЕНИЕ



Стальной лист несъемной стальной опалубки предлагается рассматривать в качестве листовой арматуры, работающей в двух направлениях (координатах) одновременно

В качестве аналога принимается техническое решение из проектов AP-1000 «Westinghouse» и ARP-1400 «KPCO»

ЦЕЛЬ (амбиция)

на **20%*** сокращение сроков изготовления армоблоков герметичного объема

на **3 месяца** сокращение сроков возведения строительных конструкций герметичного объема

на **400 тонн** сокращение расхода арматуры в герметичном объеме
1 энергоблок



* по оценке МАГАТЭ возможно сокращение сроков до 50%

Заказчик



АСЭ
РОСАТОМ

ЦТТ

Интегратор



ОРГЭНЕРГОСТРОЙ

Технические заказчики



ДСО

Бета



АТОМЭНЕРГОПРОЕКТ
РОСАТОМ

БКП-2

Участники (разработчики)



НИЦ строительство
научно-исследовательский центр



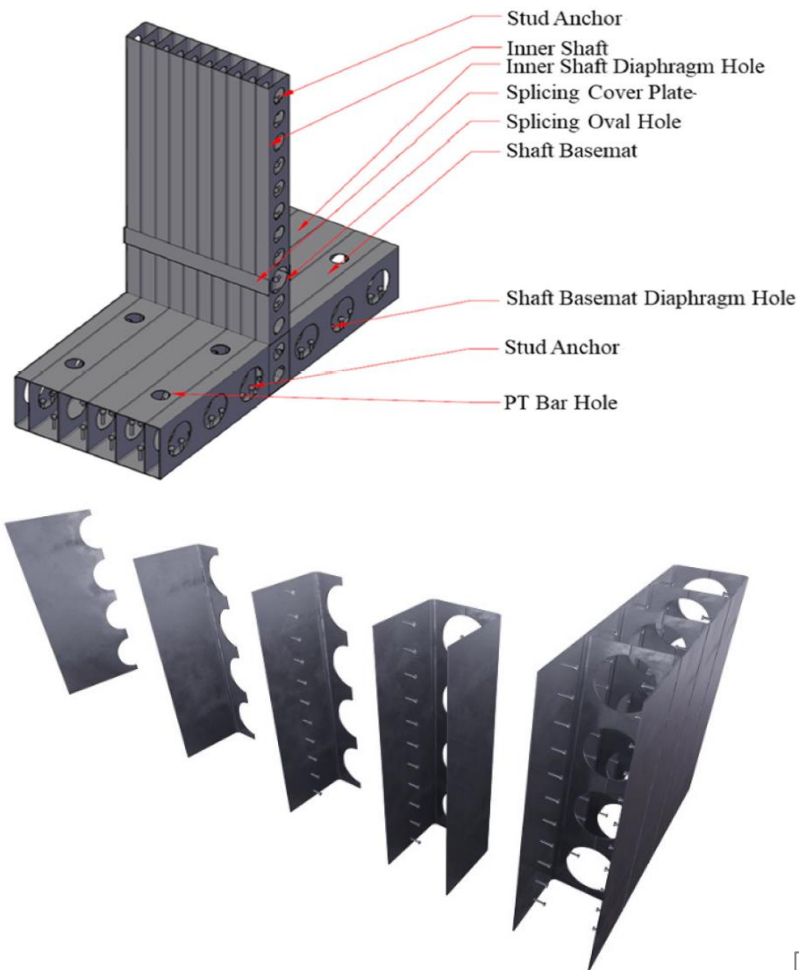
Альфа



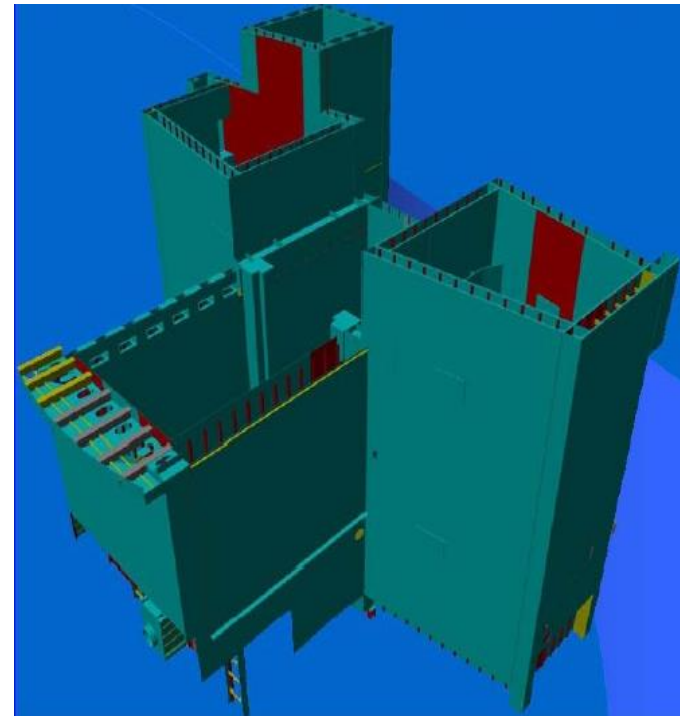
Бета



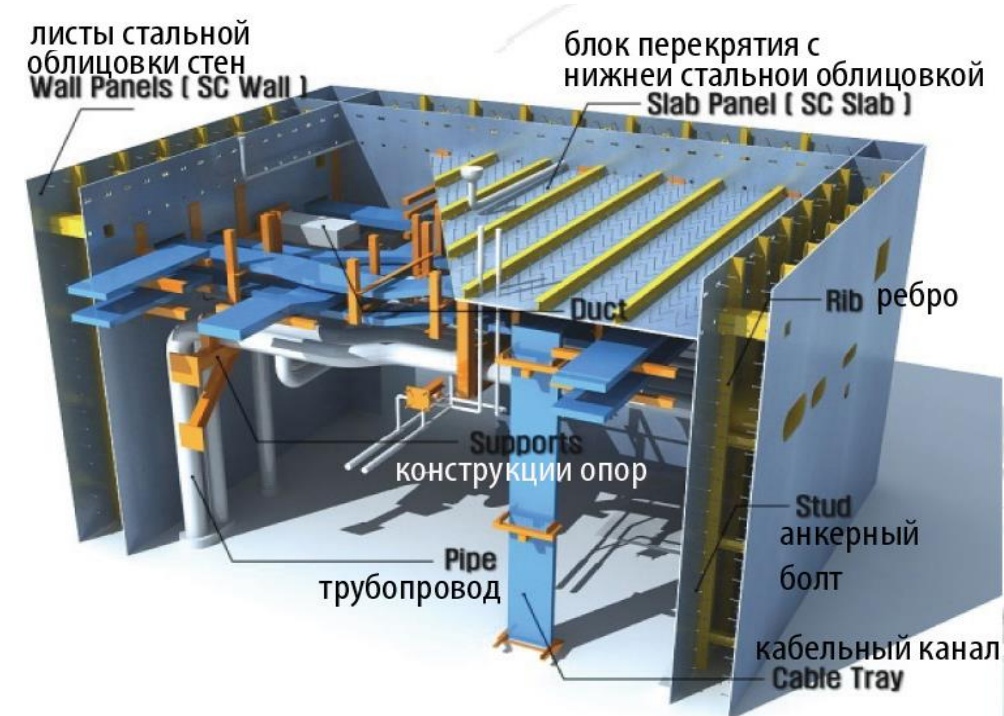
ОРГЭНЕРГОСТРОЙ



Концептуальная конструкция блок-модулей Steel Bricks™ используемых в конструкциях SC проекта BWRX-300 (GE-Hitachi)



Сверхкрупный блок со стальной облицовкой (проект AP-1000 Westinghouse)



Конструктивные решения укрупненных блоков с листовым армированием (APR-1400)

Принципиальное отличие от проектов РФ: конструкция рассматривается как стальная, наполненная бетоном. В проводимой разработке конструкции позиционируются как сталежелезобетонные с внешним листовым армированием.

1. Свод правил «Атомные станции. Конструкции сталежелезобетонные с листовым армированием».

Цель разработки: внедрение норм проектирования для сталежелезобетонные конструкции с внешним листовым армированием для атомных станций, включающих методики расчета конструкций с учетом специфики ЗЛА (зона локализации аварий) и конструктивные требования, позволяющие проектным организациям учитывать в несущей способности внешнее листовое армирование.

2. СТО АСЭ «Конструкции сталежелезобетонные с листовым армированием. Технология производства работ».

Цель разработки:

- ✓ обеспечение высокомеханизированного производства, транспортирования и монтажа армопалубочных блоков внешним листовым армированием для АЭС;
- ✓ снижение трудозатрат на производство, транспортирование и монтаж армопалубочных блоков с внешним листовым армированием для АЭС;
- ✓ обеспечение требований к качеству железобетонных конструкций с внешним листовым армированием.

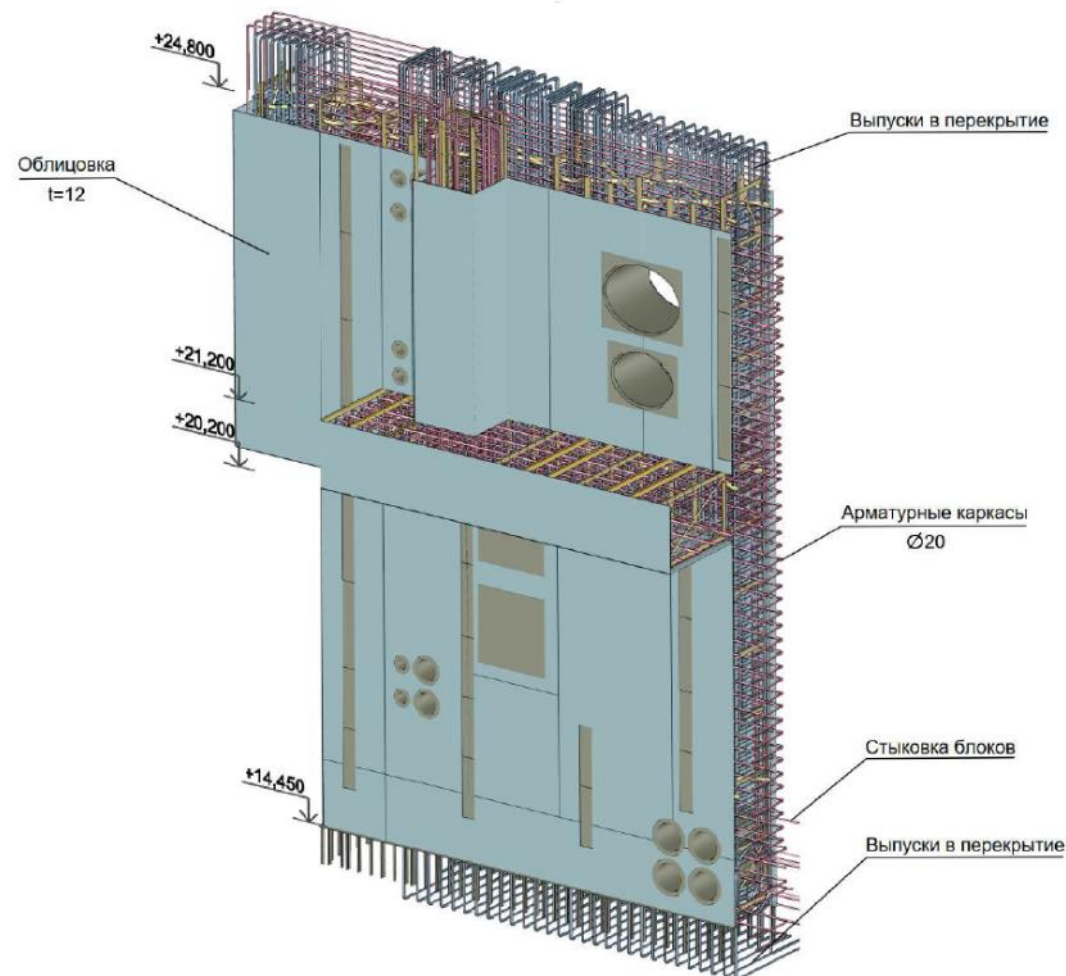
3. СТО ГК Росатом «Конструкции сталежелезобетонные с внешним листовым армированием и со смешанным армированием для зданий и сооружений АЭС. Обеспечение огнестойкости».

Цель разработки: обоснование условий обеспечения огнестойкости зданий и сооружений при проектировании АЭС с применением сталежелезобетонных конструкций с внешним листовым армированием и со смешанным армированием и установление требований при выполнении данных работ

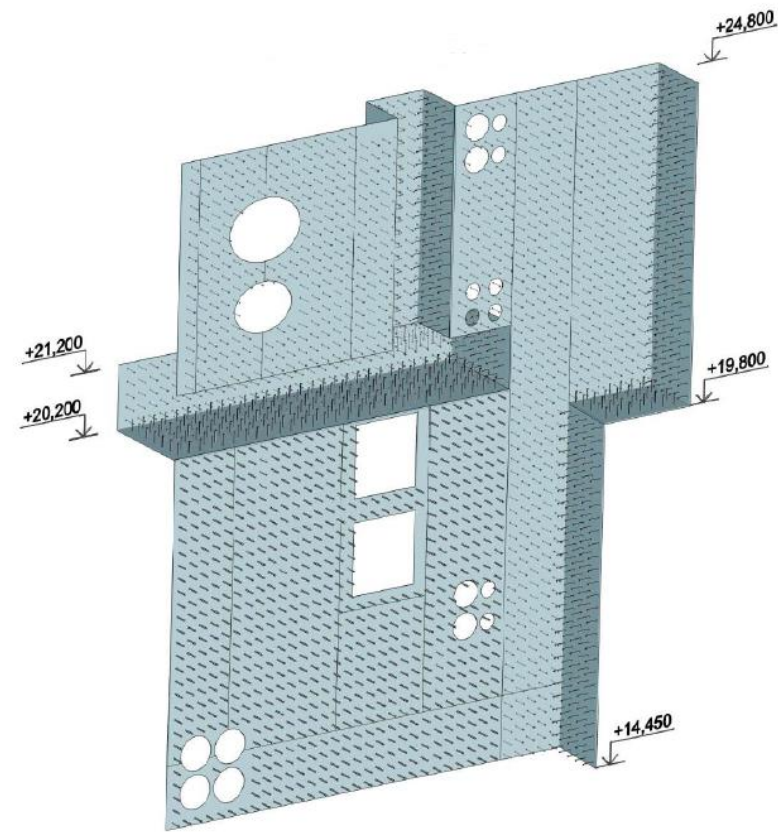
Конструктивные решения АОБ с комбинированным армированием:

- за основу приняты конструктивные решения по проекту Нововоронежской АЭС-2;
- установлено большее количество стад болтов (шаг около 200×200 мм) для обеспечения совместной работы бетона и стальной облицовки. При этом длина стад-болтов выбрана таким образом, чтобы их головка заходила за арматурный каркас ($l = 180$ мм);
- Передача усилий от стальной облицовки обеспечивается анкерными арматурными элементами, установленными по контуру листа с использованием сварки. Указанные элементы могут быть установлены как до монтажа армоблока в проектное положение, так и после;
- армоблоки содержат ряд доборных элементов из стальных пластин в зонах стыков и расположения проходок. Указанные доборные элементы устанавливаются после монтажа армоблока в проектное положение и установки всех необходимых выпусков и анкерных элементов.

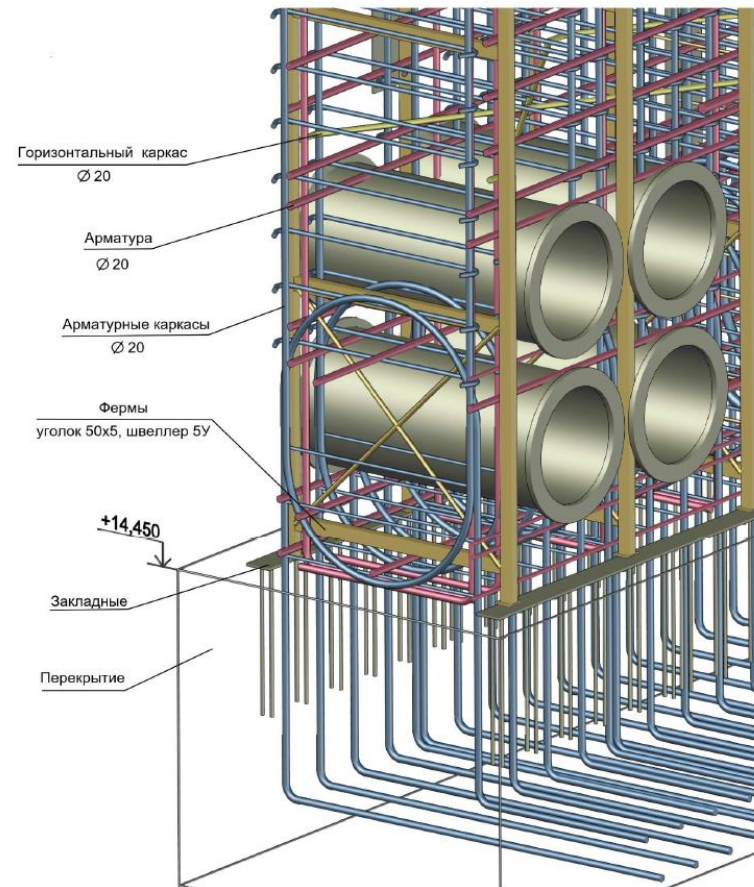
Обозначение	Основной объем КГ	Примечания
Элементы армирования	3791	Ø20
Элементы облицовки	8038	t -8
Элементы жесткости для монтажа блока	2082	
Стад-болт	413	Ø 10мм длиной 180мм вес 1 шт. 0,125



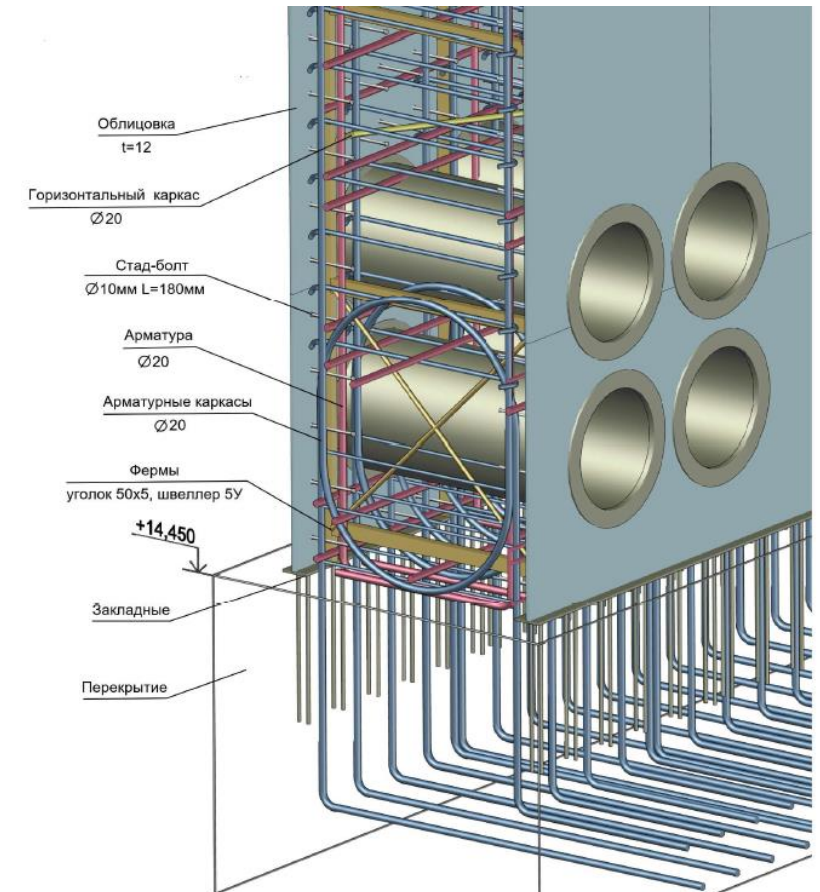
АОБ стены



Облицовка со стэд болтами



Узел соединения «стена-перекрытие»
(без облицовки)

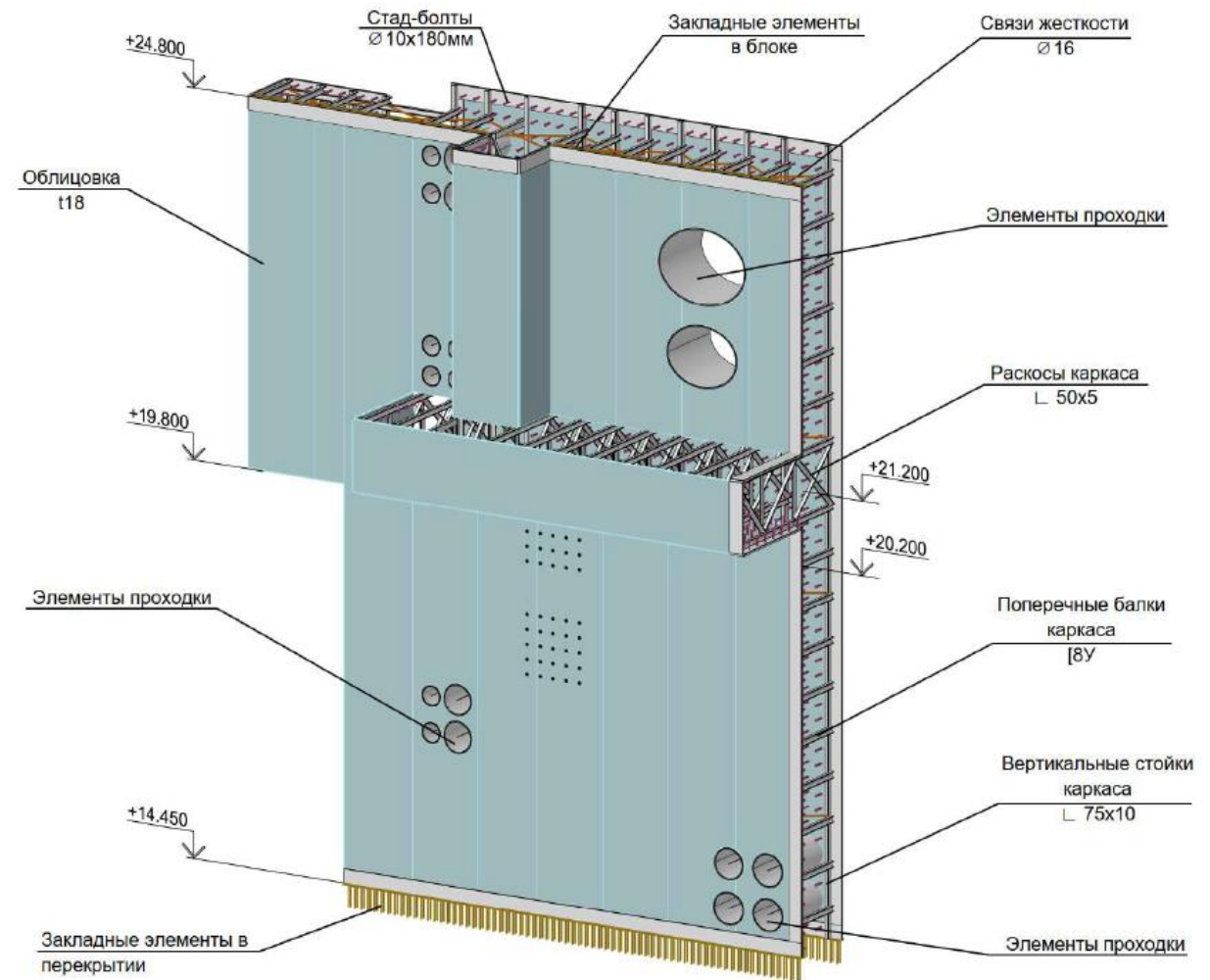


Узел соединения «стена-перекрытие»
(без облицовки)

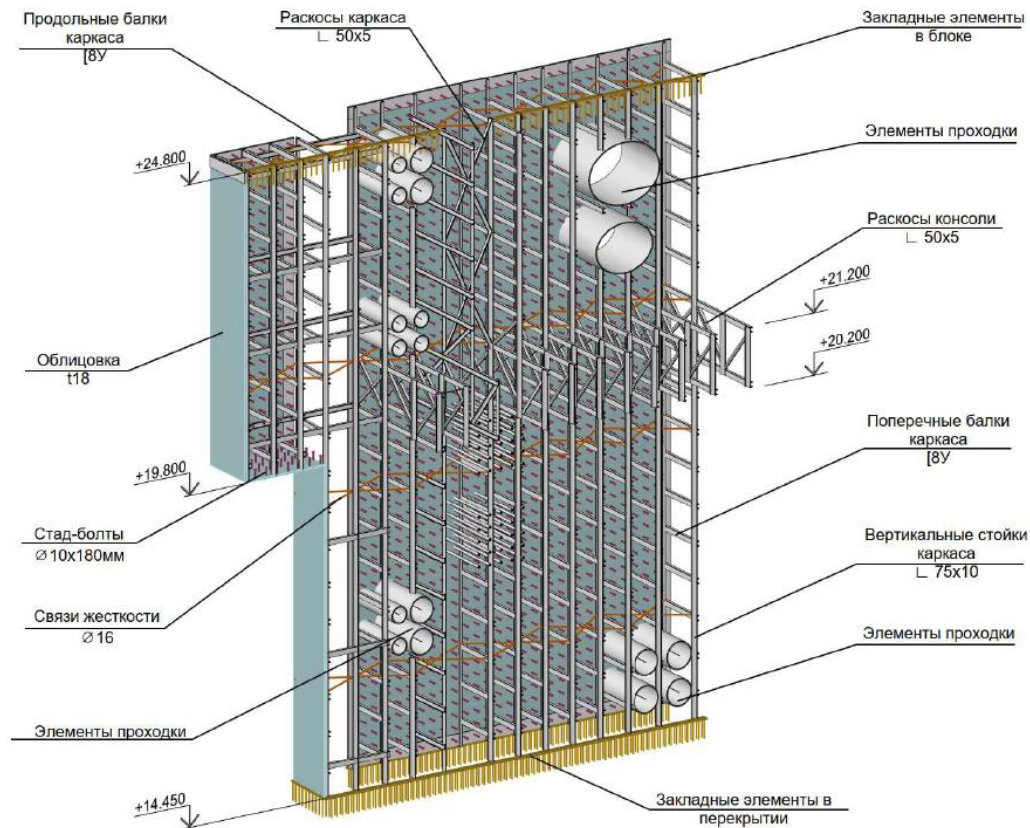
Конструктивные решения АОБ с листовым армированием:

- за основу приняты конструктивные решения по проекту АР-1000;
- толщина облицовки увеличена до 12 мм;
- передача усилий от стальной облицовки обеспечивается анкерными арматурными элементами, установленными по контуру листа с использованием сварки. Указанные элементы могут быть установлены как до монтажа армоблока в проектное положение, так и после.

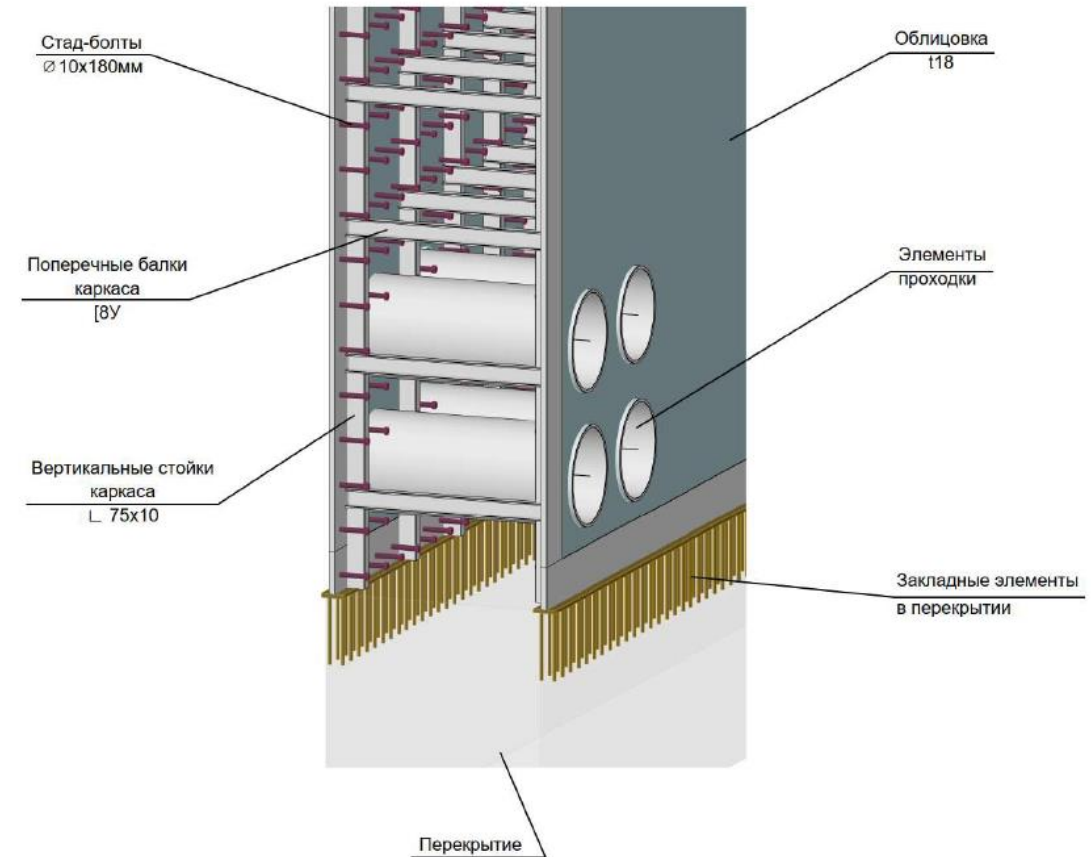
Обозначение	Основной объем КГ	Примечания
Элементы облицовки	12 262,9	Лист t=12 мм Присоединительный элемент t=25 мм
Элементы жесткости для монтажа блока	2 753,5	
Стад-болт Ф10мм длиной 180мм	325.4	вес 1 шт. 0,125 кг (2603 шт)
Итого:	15 341,7	



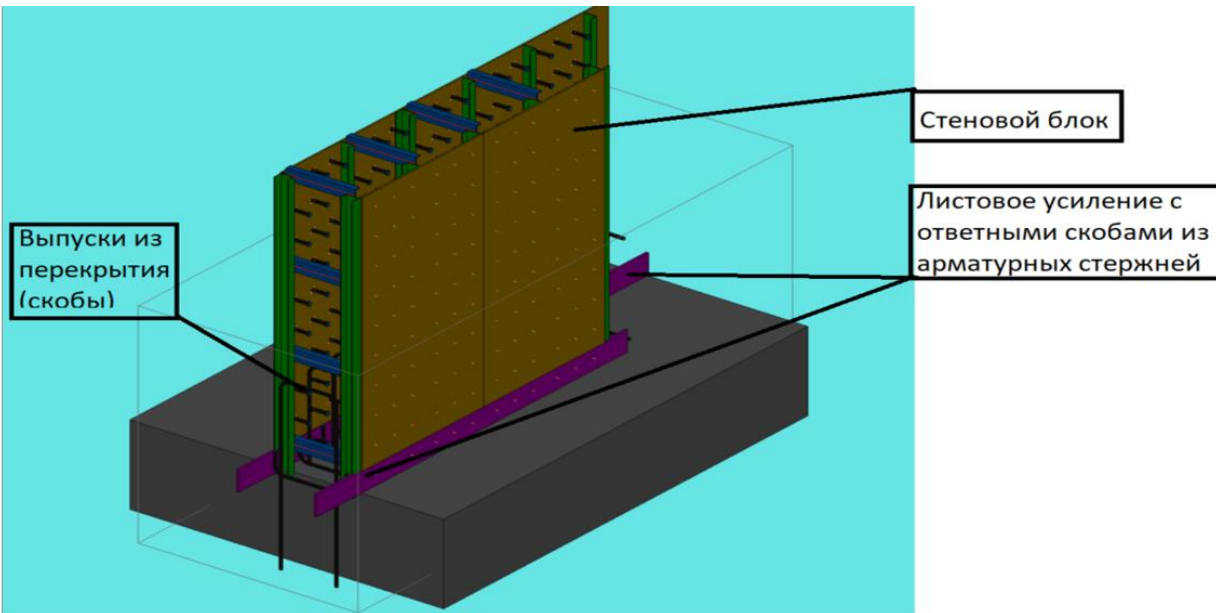
АОБ стены



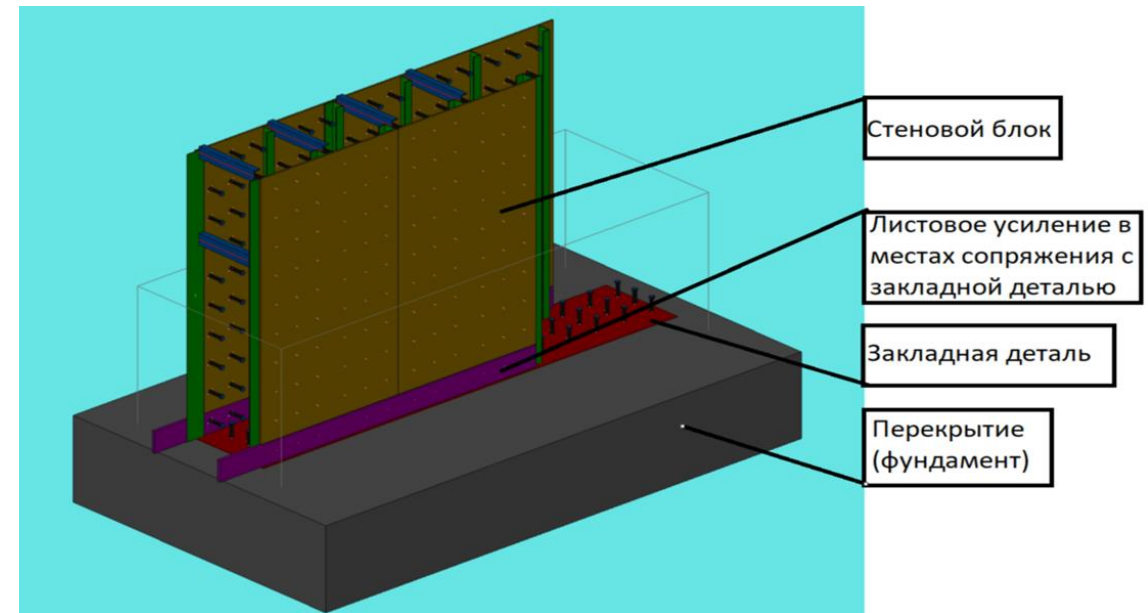
Облицовка со стад болтами



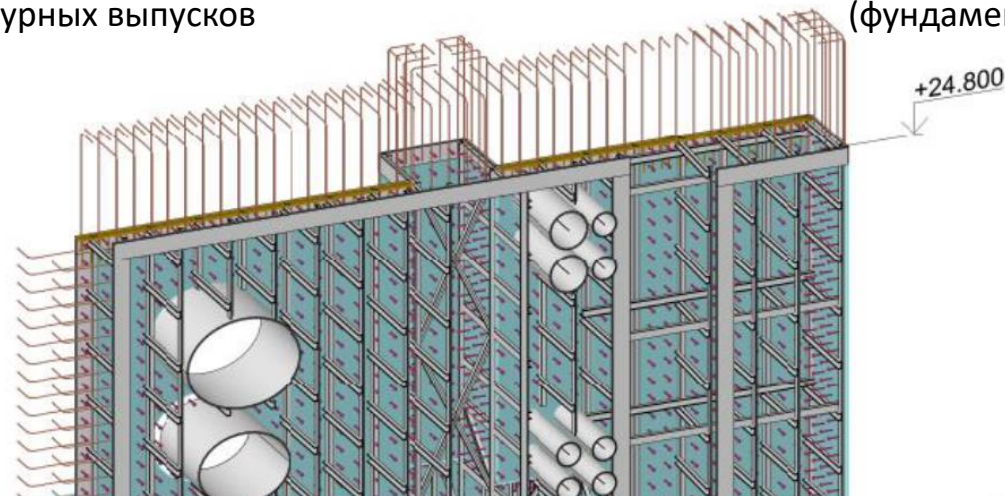
Узел соединения «стена-перекрытие» (без облицовки)



Узел сопряжения стен с перекрытием (фундаментом) с помощью арматурных выпусков



Узел сопряжения стен с перекрытием (фундаментом) с помощью закладной детали



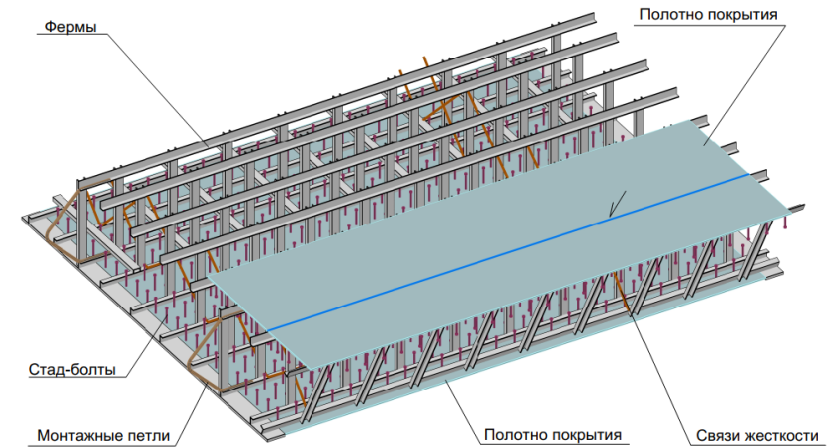
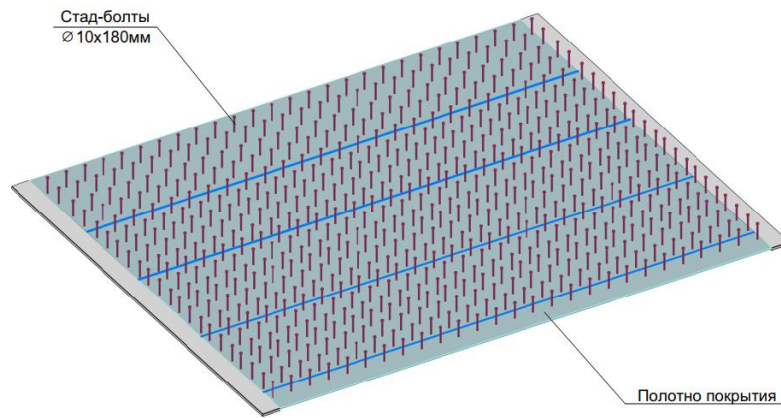
Выпуски арматурных стержней

Выполняемые работы:

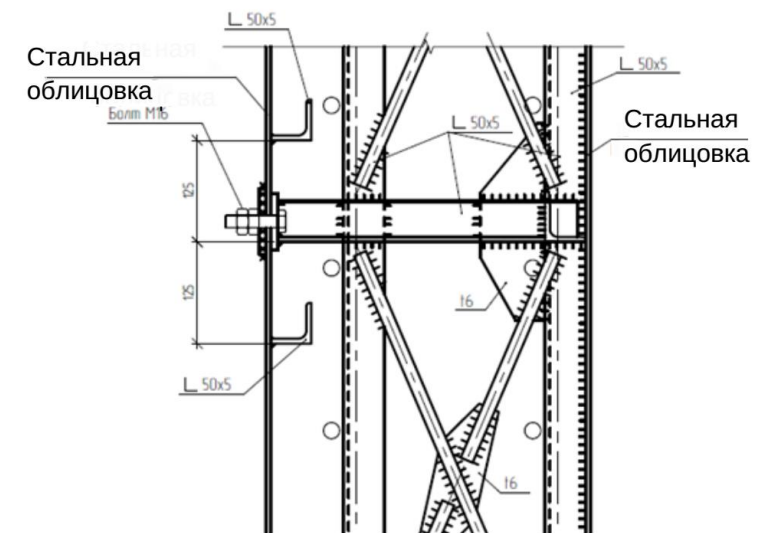
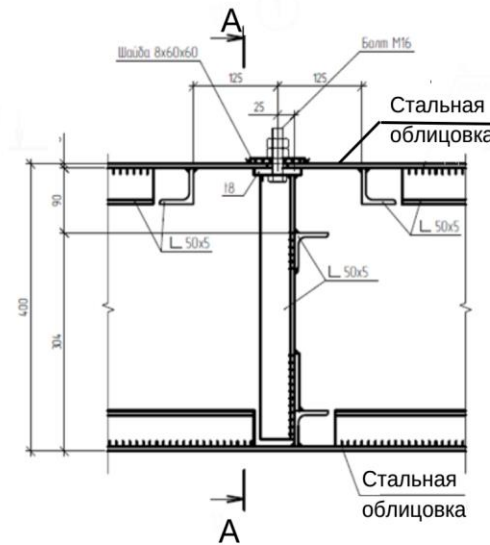
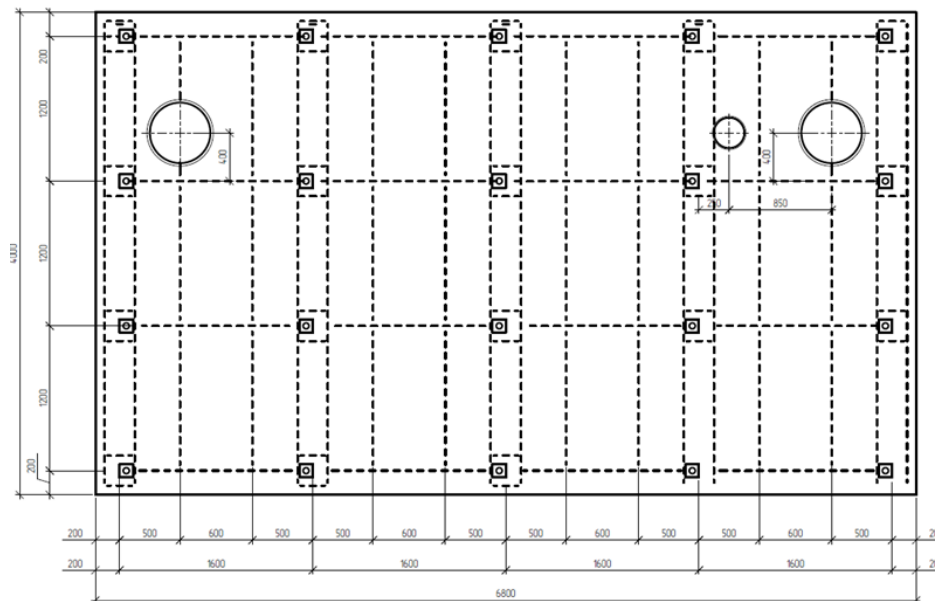
- выбор и обоснование технологий сварки в заводских и построечных условиях;
- разработка технологии заводской и укрупнительной сборки армоопалубочных блоков, необходимой технологической оснастки, сварки металлоконструкций в заводских и построечных условиях;
- планирование пооперационного контроля качества изготовления, укрупнительной сборки и монтажа в проектное положение;
- разработка и обоснование предложений по контролю качества сварных соединений металлоконструкций; выбор оптимальных методов контроля сварных соединений;
- изготовление и аттестация опытных сварных соединений;
- разработка Технологической инструкции (ТИ) на сварку;
- разработка конструктивного оформления узлов сварки;
- рациональные варианты транспортировки, кантования и подъёма армоопалубочных модулей;
- разработка регламентов ведения работ, сопровождения монтажа опытных фрагментов по разделу 4.4



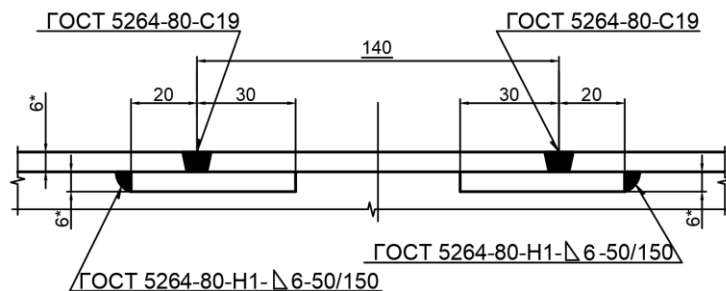
Монтаж АОБ



Стандартная технология сборки (сварная)



Сборка на болтовых соединениях.



Стыковка смежных блоков с использованием вставок

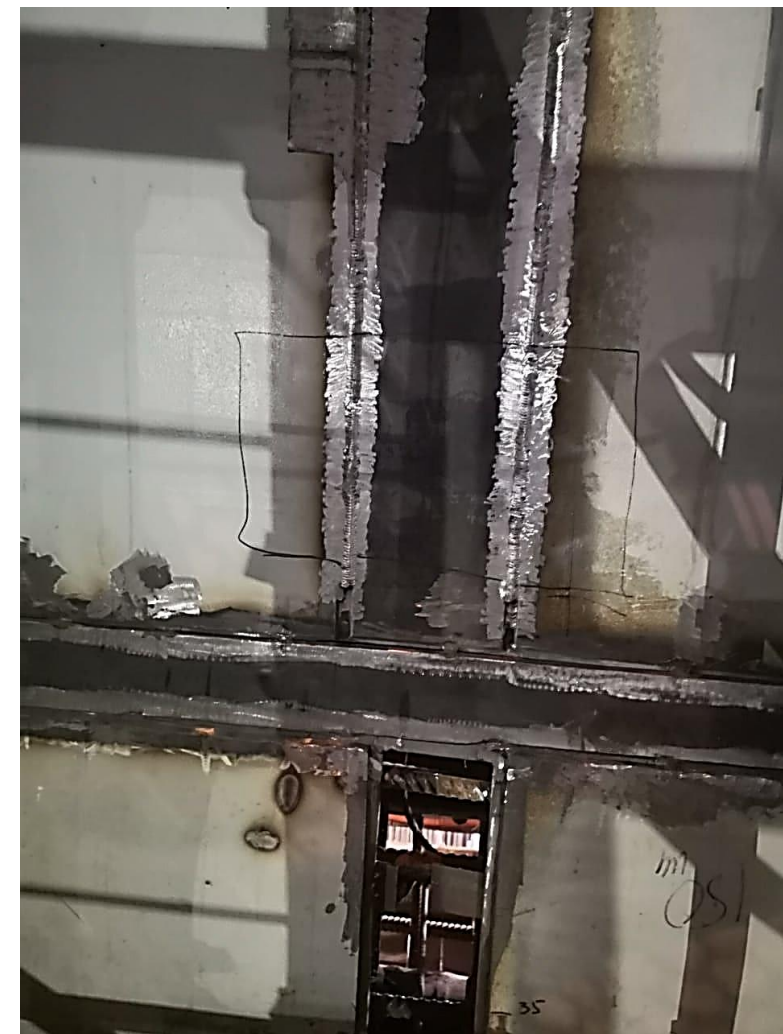
Предложения сборке и сварке листовой арматуры на монтаже для протяженных швов:

- При относительно небольших размерах армоблоков и листовых конструкций, когда существует возможность сборки листовой арматуры с допусками по зазорам и смещению свариваемых кромок по типу C10, C19 и т.д. по ГОСТ 14771-76 (Полуавтоматическая сварка) или ГОСТ 5264-80 (РДС). Конструктив сварных соединений рекомендуется выполнять в стандартном исполнении.
- При больших размерах армоблоков и/или сложной конфигурации, когда сборка под сварку стандартных швов с требуемыми значениями допусков невозможна или затруднительна, допускается стыковые соединения выполнять со вставкой (нащельником).

Данная конструкция была успешно реализована на строящихся блоках Курской АЭС-2 и АЭС Эль-Дабаа при монтаже лепестков и конструкций ВЗО (для вертикальных и горизонтальных швов).

Используемые виды сварных соединений:

- стыковой с односторонней разделкой кромок на подкладной пластине (по типу C5, C10, C19);
- стыковой с двусторонней разделкой кромок (по типу C25);
- стыковой с односторонней разделкой кромок (по типу C17, C21);
- нахлесточный (по типу H1);
- тавровый (по типу T1, T3).



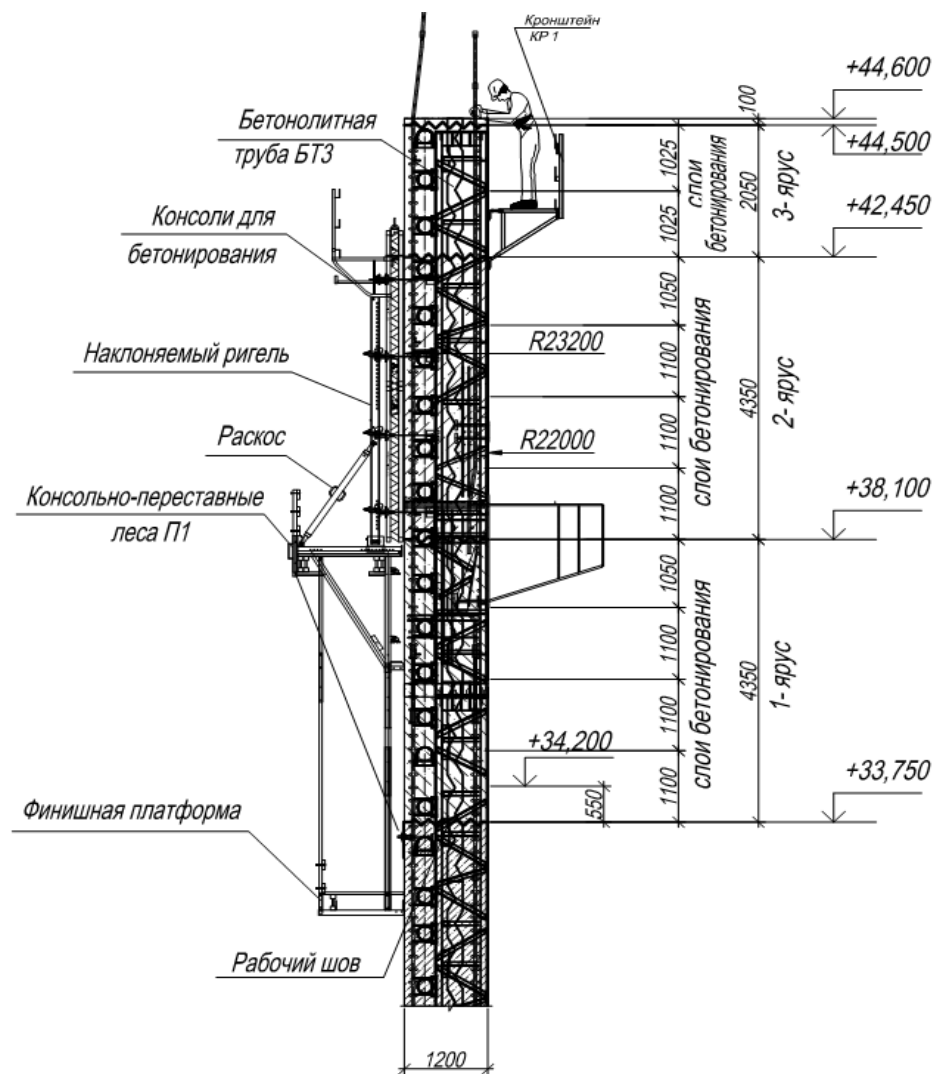
Пример стыковки смежных блоков с использованием вставок

Выполняемые работы:

- выбрать оптимальный способ контроля, позволяющий достоверно определять зоны с дефектами бетонного ядра сталежелезобетонной конструкции;
- с учетом свойств бетонной смеси рекомендовать технологии бетонирования, обеспечивающие проектное качество конструкции.

разрабатываются:

- требования к бетонной смеси;
- варианты подачи и укладки бетонной смеси в различные типы конструкций и элементов;
- номенклатуру технологических операций, требующих контроля и освидетельствования с составлением исполнительной документации, для оформления общего акта скрытых работ для подтверждения качества бетонирования и установки закладных элементов



Технология бетонирования ВЗО

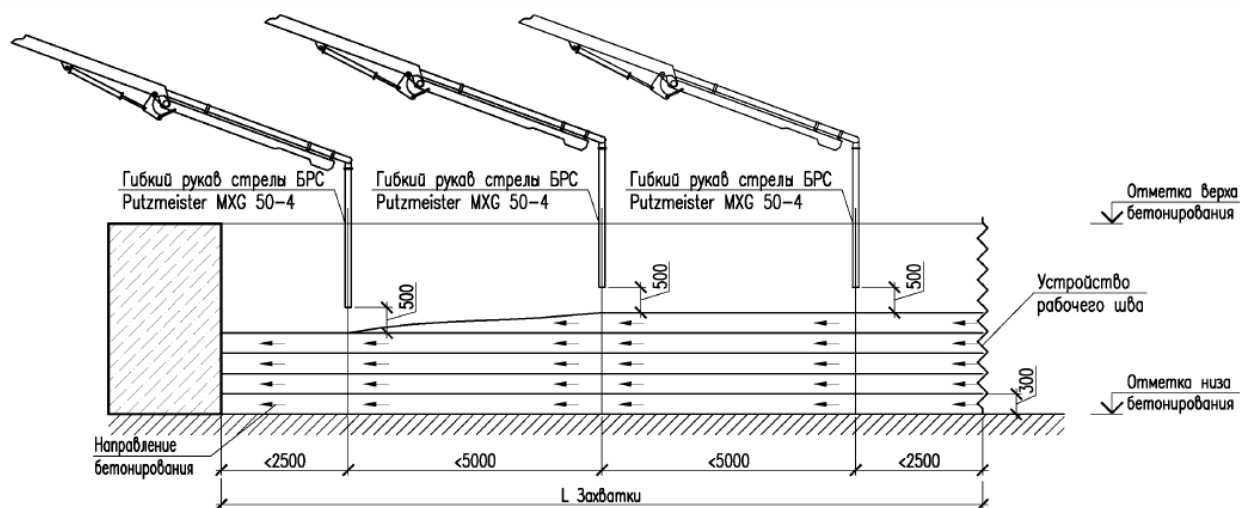
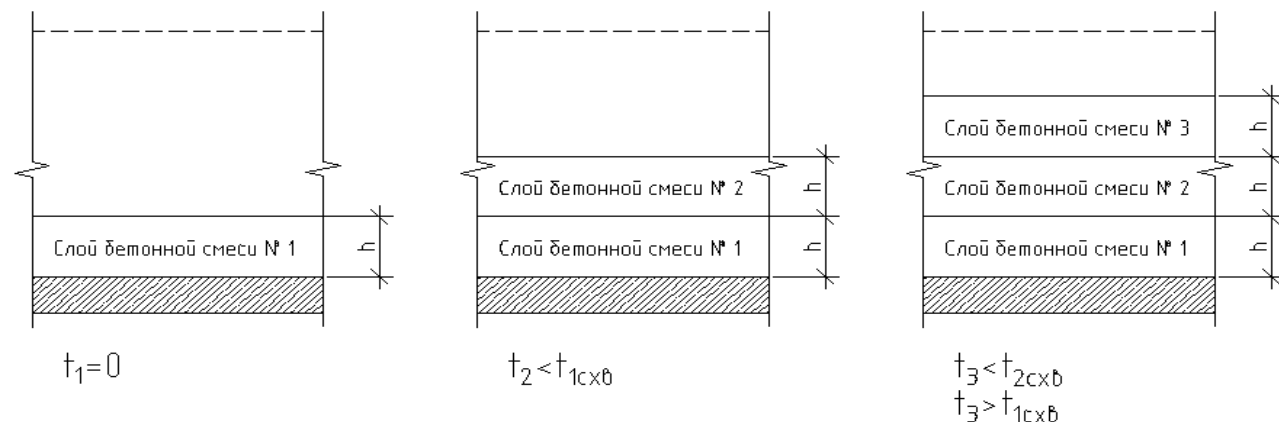


Схема бетонирования конструкций стен

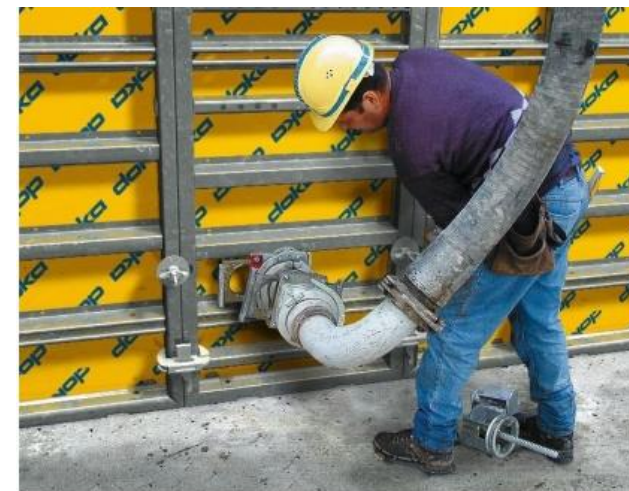


Бетонирование В30



Технология укладки бетонной смеси, ограничивающая нагрузку на опалубку от свежееуложенного бетона

Примечание: t_1 – время укладки слоя бетонной смеси № 1; t_2 – время укладки слоя бетонной смеси № 2; t_3 – время укладки слоя бетонной смеси № 3; $t_{1схв}$ – время набора расчетной прочности бетонной смеси слоя № 1; $t_{2схв}$ – время набора расчетной прочности бетонной смеси слоя № 2



Напорное бетонирование

Предмет разработки:

Необходимо выполнить анализ существующих методов контроля степени уплотнения и наличия дефектов в конструкции с несъемной стальной опалубкой (ультразвуковой импульсный, радиоактивный, контроль по электропроводности, СВЧ-метод, метод поверхностных волн акустического диапазона и др.);

Разрабатываются:

- перечень методов и описание процедур входного контроля качества сырьевых материалов для бетонов;
- перечень методов и описание процедур входного контроля качества материалов для изготовления армоблоков;
- перечень методов и описание процедур операционного контроля качества изготовления армоблоков;
- перечень методов и описание процедур контроля монтажа армоблоков в проектное положение;
- перечень методов и описание процедур операционного контроля качества бетонирования армоблоков;
- перечень методов и описание процедур приемочного контроля качества сварных швов;
- перечень методов и описание процедур приемочного контроля качества бетона



Дефекты монолитного бетона при бетонировании

Предложения по контролю качества металлоконструкций, сварных соединений и бетона

Характеристика сварного соединения	Категория	Объем контроля, %				
		Визуальный и измерительный контроль	Радиографический контроль	Ультразвуковой контроль ¹⁾	Контроль герметичности ²⁾	Капиллярный контроль ³⁾
Подведомственные СП 70.13330.2012 (РД 34.15.132-96)						
Стыковые, угловые, нахлесточные, тавровые соединения с полным проваром корня шва, например, тип С5, С7, С10, С19, С25, У6, У7, Н1, Т6, Т7, Т8:						
- из стали перлитного класса	-	100	-	10 ⁴⁾	-	-
Угловые, тавровые, нахлесточные соединения с неполным проваром корня шва, швы нащельников и прорезные (заклепочные), например, тип Т1, Т3, Т9:						
- из стали перлитного класса	-	100	-	-	-	-
Подведомственные ПНАЭ Г-10-032-92						
Стыковые, угловые соединения с полным проплавлением кромок:						
- из стали перлитного класса;	Д НД	100 100	- -	20 30	100 100	- -
- из коррозионностойких сталей;	Д НД	100 100	10 15	- -	100 100	- -
элементов из сталей перлитного класса с элементами из коррозионностойких сталей	Д НД	100 100	25 30	- -	100 100	15 20
Угловые, тавровые, нахлесточные соединения с неполным проплавлением кромок, швы нащельников и прорезные (заклепочные):						
- из сталей перлитного класса и коррозионностойких сталей;	Независимо	100	-	-	100	-
элементов из сталей перлитного класса с элементами из коррозионностойких сталей	Д НД	100 100	- -	- -	100 100	20 25

¹⁾ - УЗК может быть заменен радиографическим в том же объеме;
²⁾ - выполняется для соединений, к которым проектом предъявлены требования по герметичности;
³⁾ - применяются также в случаях, указанных в разделе 4.4 ПНАЭ Г-10-032-92;
⁴⁾ - в случае невозможности выполнения УЗК или РГК допускается проводить послыйный визуальный контроль в процессе сварки с фиксацией результатов контроля в специальном журнале.



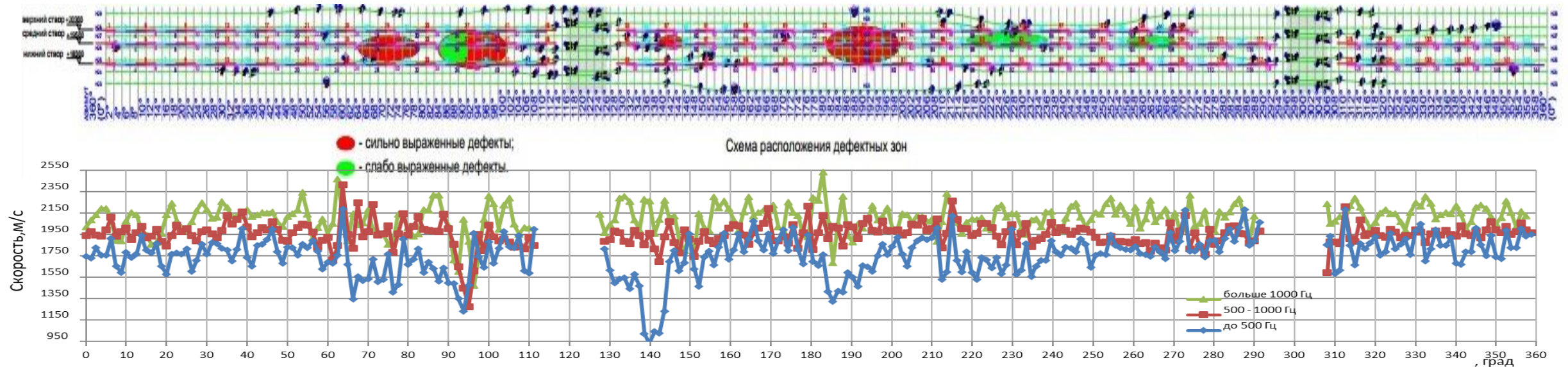
Предложения по контролю качества металлоконструкций, сварных соединений и бетона



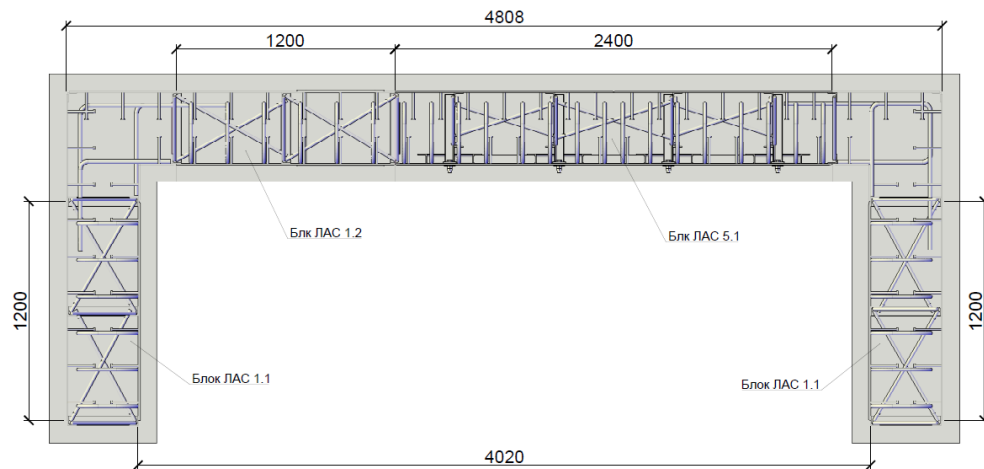
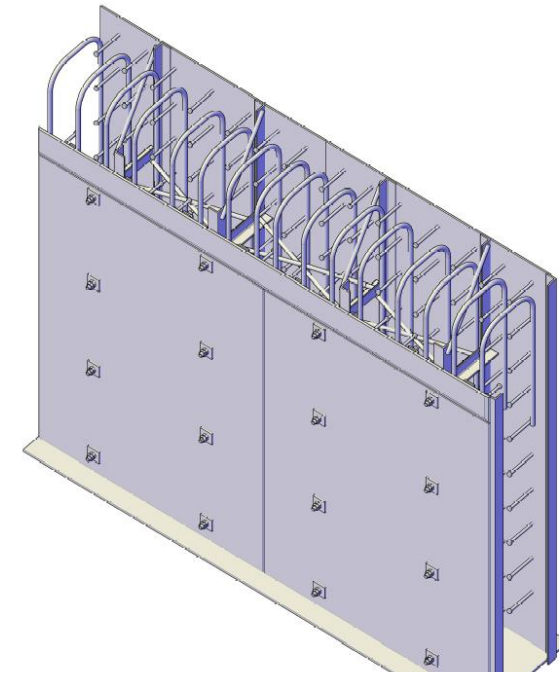
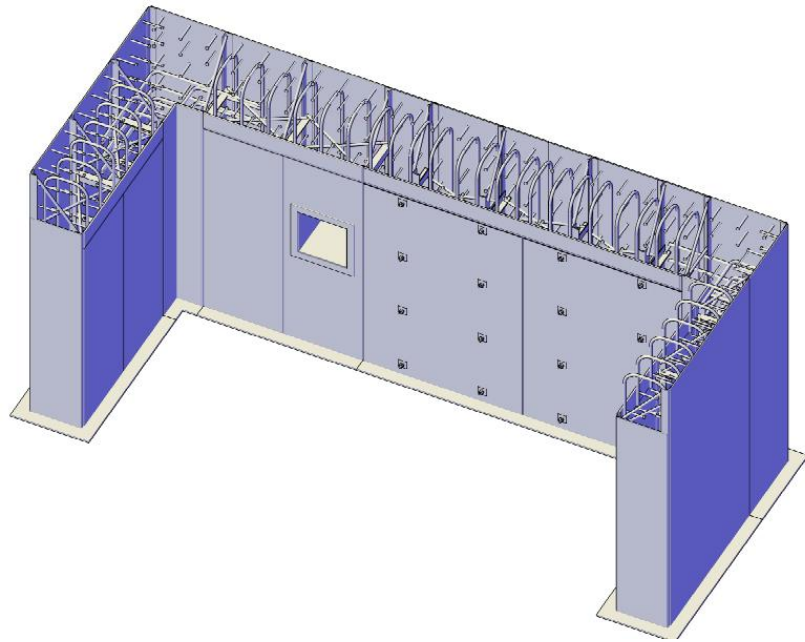
Прогнозирование прочности бетона по температуре



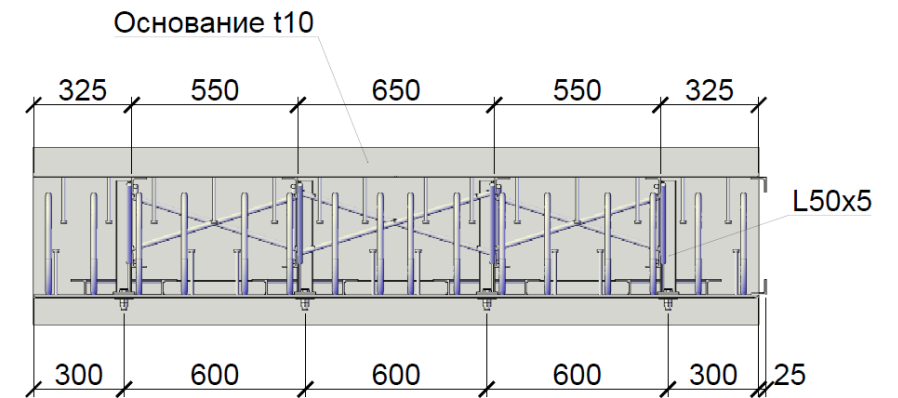
Контроль качества бетона методом ультразвукового межскважинного каротажа



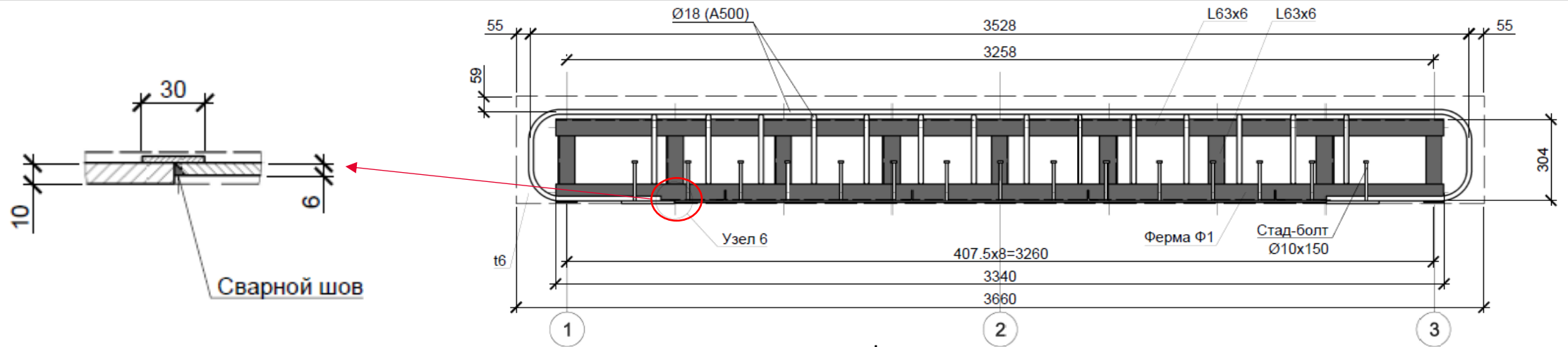
Сейсмоакустический метод поверхностных волн (31 ГПИСС)



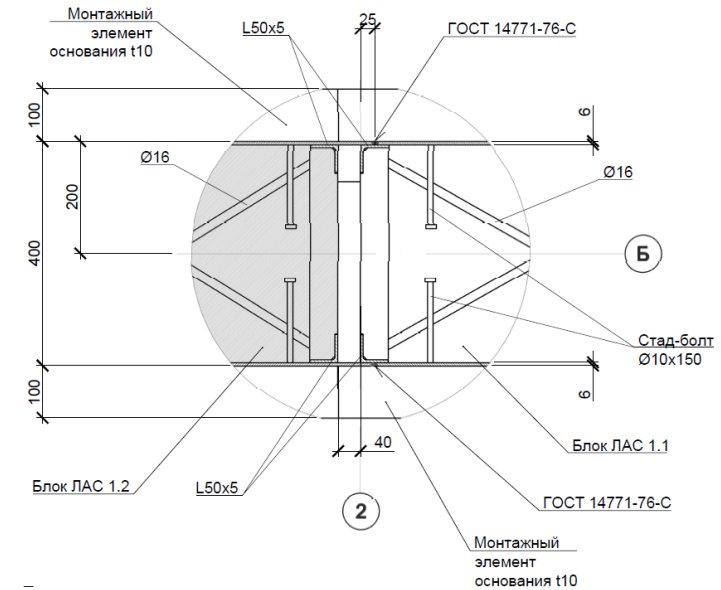
Макет фрагмента



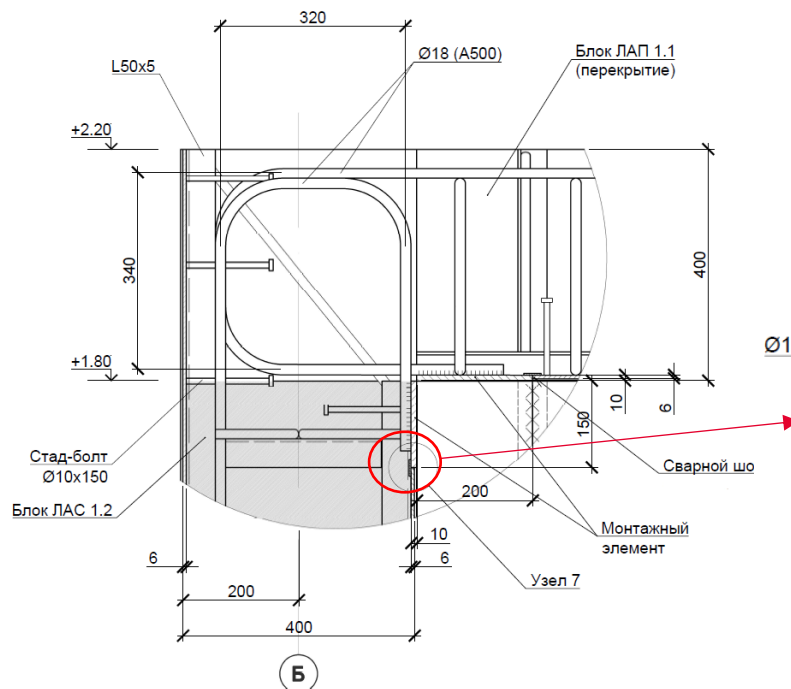
АОБ с болтовыми соединениями



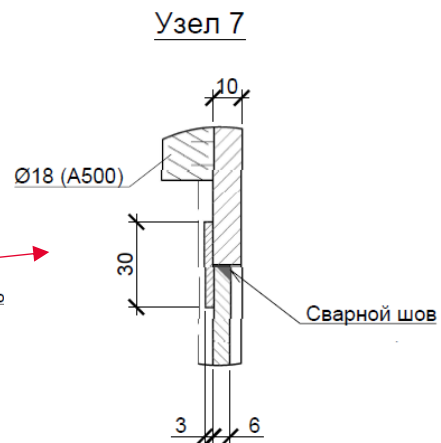
Фрагмент перекрытия

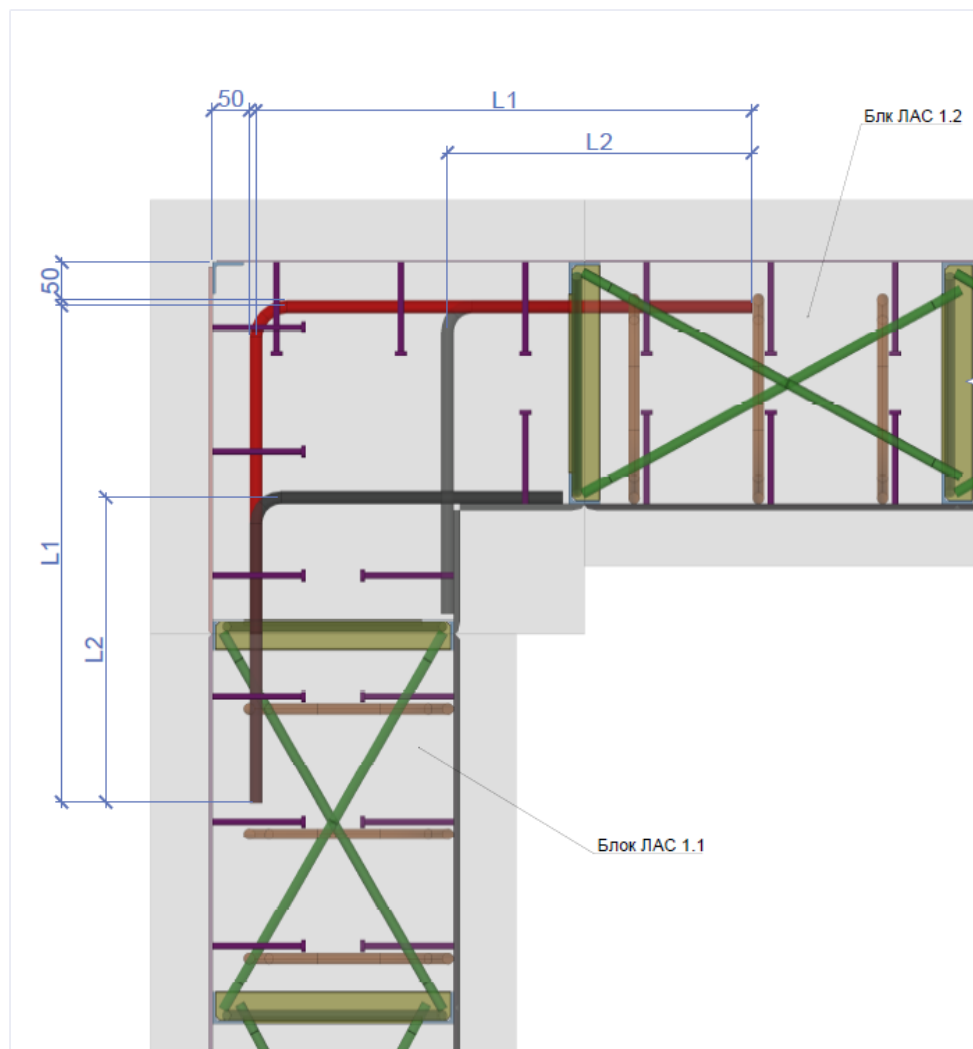


Линейный узел стен

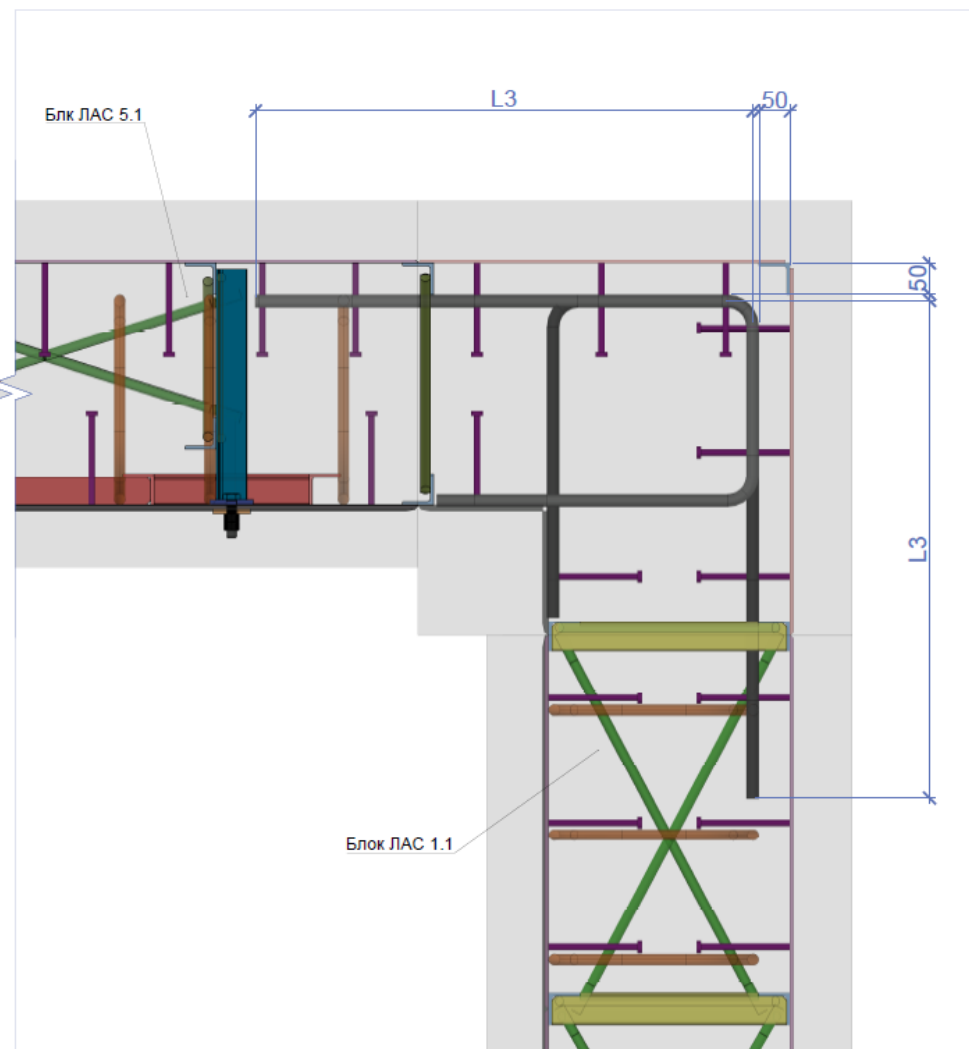


Узел стыковки «перекрытие-стык»

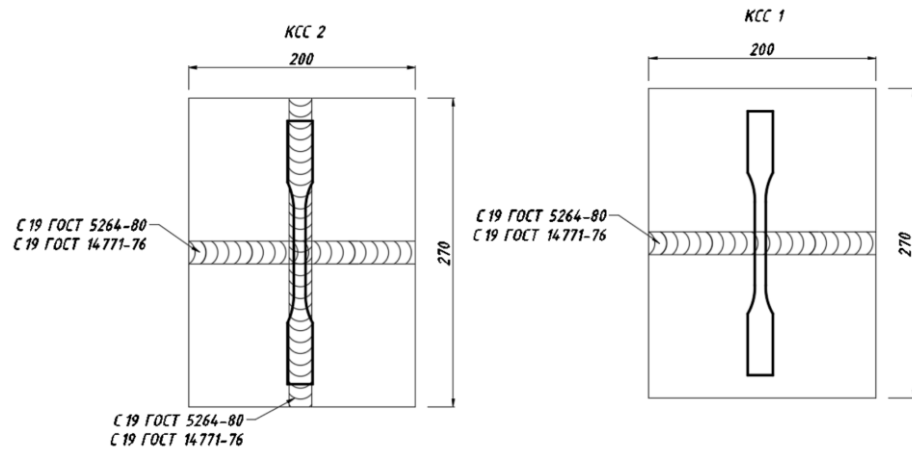




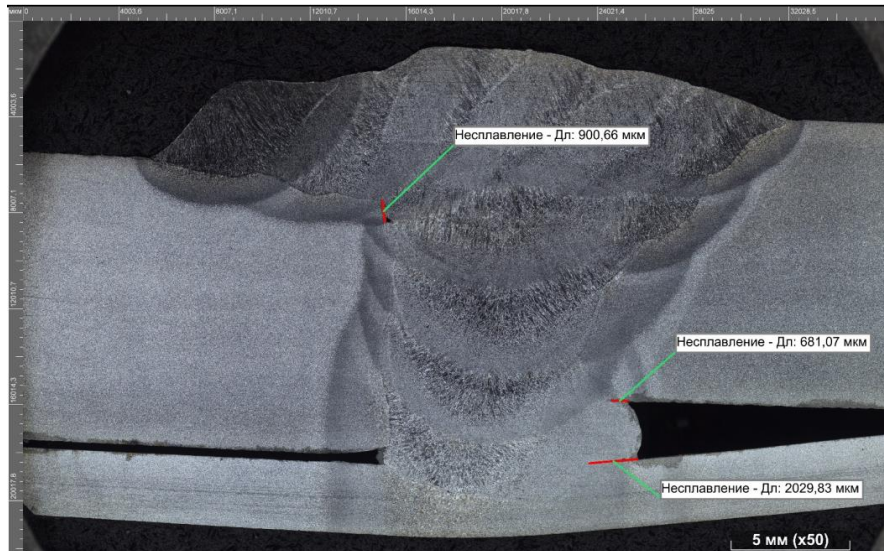
Угловой стык с Г-образными элементами



Угловой стык с П-образными доборными элементами (петлями)



Виды исследуемых сварных соединений



Микрофотографирование сварного шва



Общий вид заготовок для испытаний



Испытание в климатической камере (+200°C)



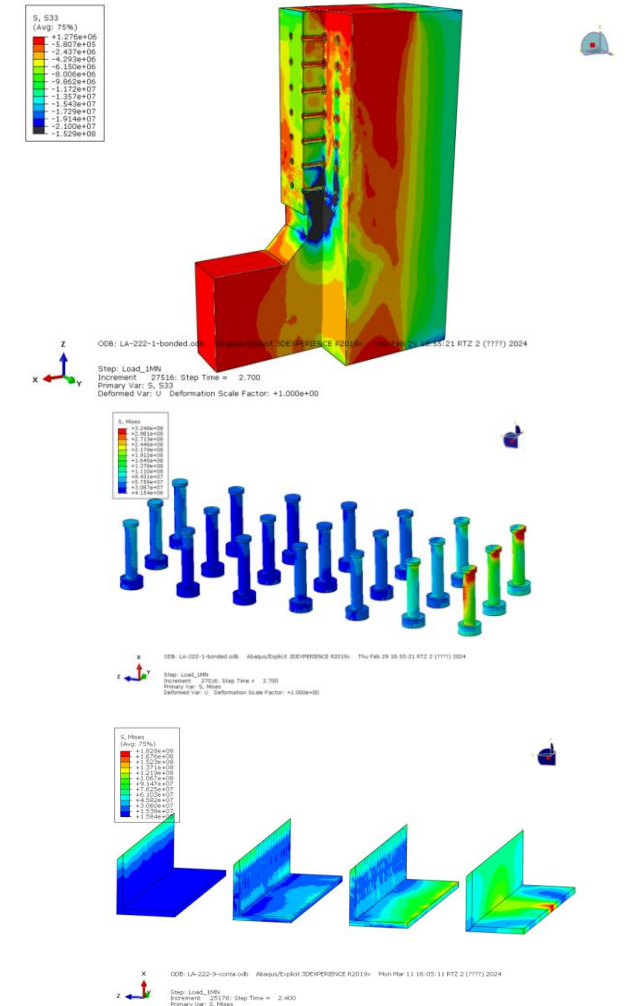
Установка тензорезисторов на стальной каркас до укладки монолитного бетона



Изготовление железобетонных образцов на производственной базе ООО «Трест Россэм»



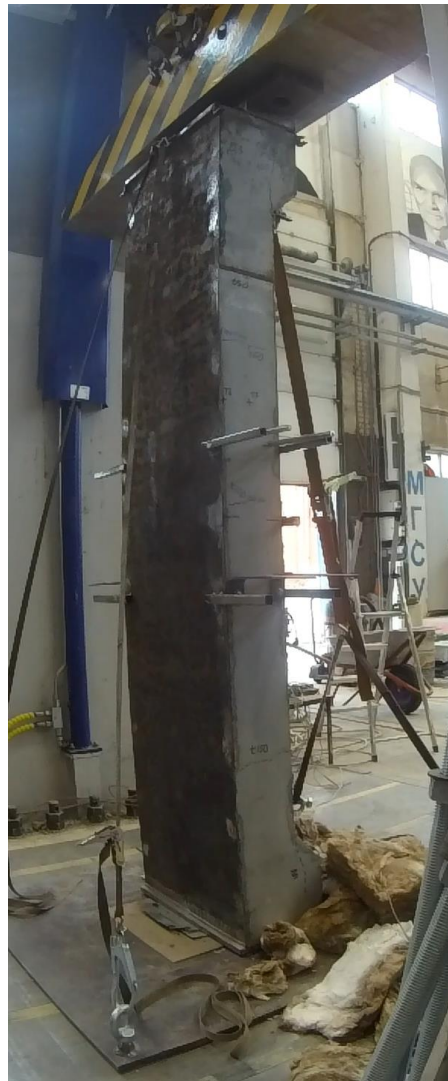
Экспериментальное исследование



Численное моделирование

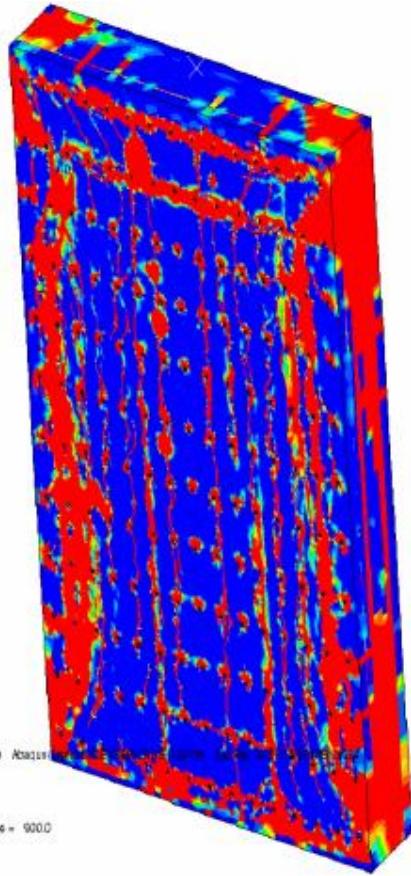
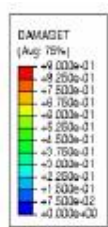


Местная потеря устойчивости листа при сжатии после односторонним прогревом до $+200^{\circ}\text{C}$



Разрушение образца при внецентренном сжатии с односторонним прогревом до $+200^{\circ}\text{C}$

Презентационный ролик НИУ МГСУ о выполняемых испытаниях на внецентренное сжатие



Численное моделирование огневого воздействия



Испытательная установка для вертикальных конструкций



Испытательная установка для горизонтальных конструкций

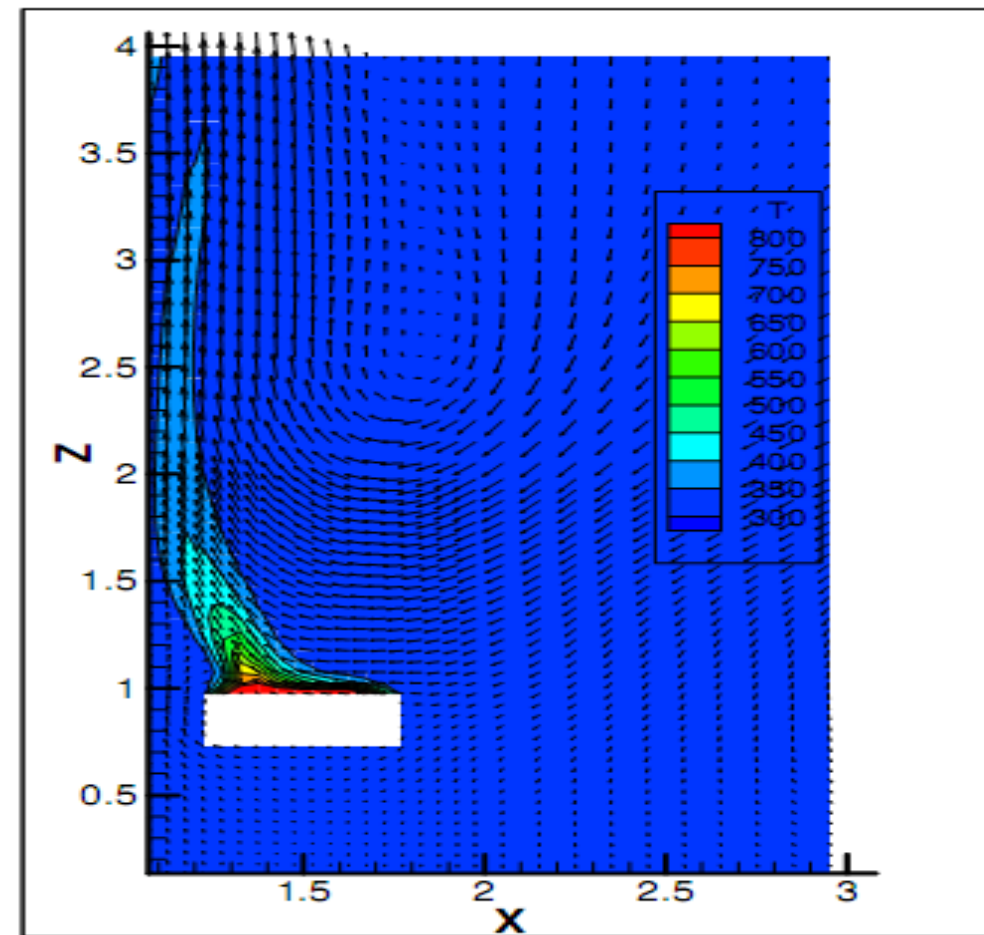
Оценка реально возможных пожарных воздействий:

Сценарий 1: Пожар пролива масла из маслосистемы ГЦН. Определялись допустимые параметры пожара – площадь и длительность свободного горения, при которых давление в гермообъеме не превысит 0,129 МПа (параметр включения спринклерных установок внутри оболочки);

Сценарий 2: Пожар кабельных трасс при креплении кабельных конструкций к строительным конструкциям.

Выводы по результатам оценки реальных сценариев пожара:

- Наибольшую опасность в гермооболочке реакторного здания представляют пожары кабельных трасс, которые размещаются от строительных конструкций на расстоянии порядка 200 мм.
- При пожаре кабельной трассы температура пламени и стальных поверхностей коробов и лотков достигает +800°C.
- При размещении коробов и лотков один над другим на расстоянии 250 мм и меньше друг от друга горение с нижнего короба распространяется на верхний короб и высота участка горения равна сумме высот этих конструкций и расстояния между ними.
- Максимальная продолжительность пожара в кабельном коробе (лотке) составляет 1,5 часа.



Динамика газоздушных потоков при горении горизонтального кабельного короба, параллельного оболочке. Расстояние до оболочки – 200 мм. Перекрытие удалено от зоны горения.



ОРГЭНЕРГОСТРОЙ

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!



АО «Институт «Оргэнергострой»
115114, Российская Федерация
Г. Москва Дербеневская наб., д.7, стр.10
Тел.: +7 (495) 287-88-72
Факс: +7 (495) 287-88-73
Email: post@ioes.ru

WWW.IOES.RU