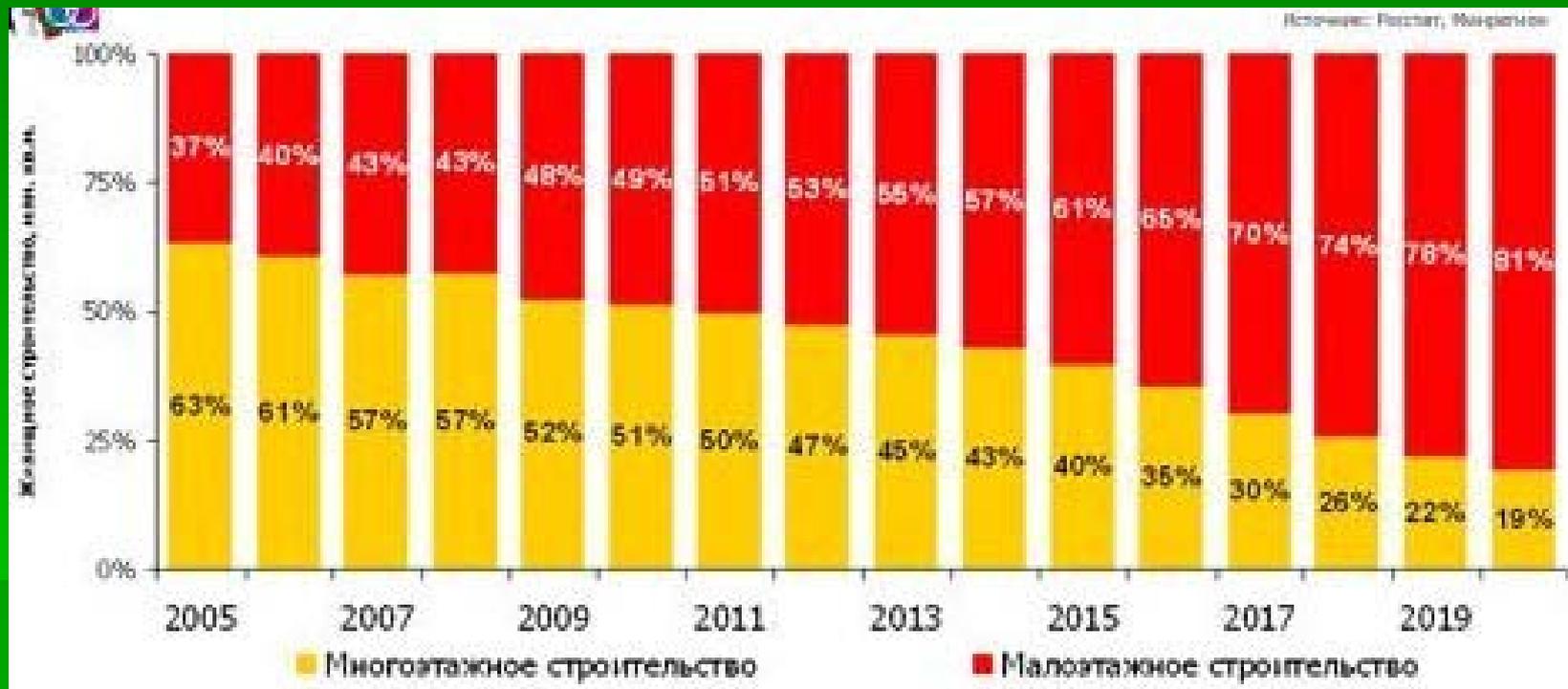


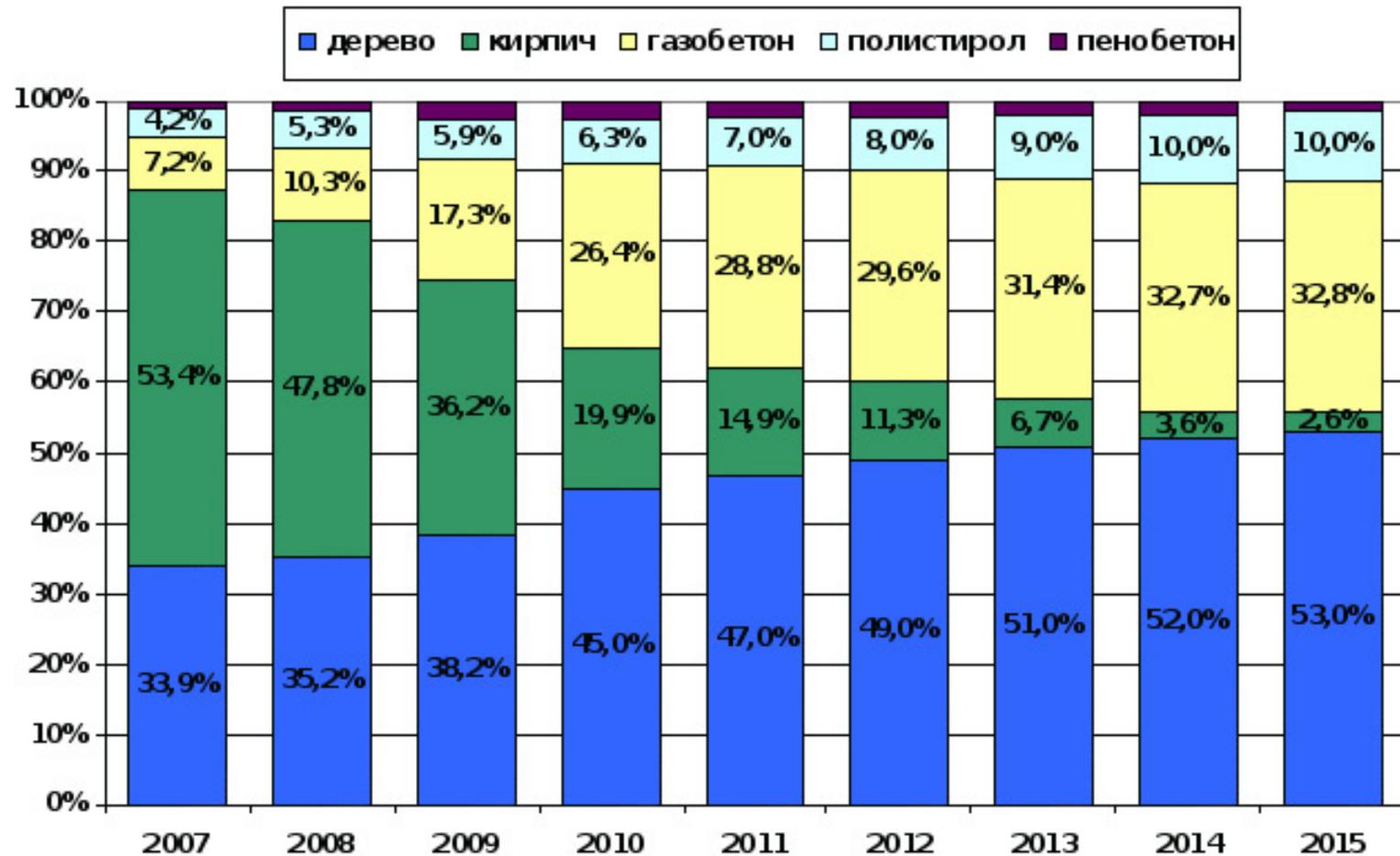
# **Быстровозводимое жилье из объемных модулей (блоков) максимальной заводской готовности**

Лабудин Б.В., д.т.н., профессор  
Воронков С.А., магистр  
Северный (Арктический) федеральный  
университет им. М.В.Ломоносова,  
г.Архангельск

# Распределение доли малоэтажного строительства в РФ с 2005 по 2020гг.



# Структура малоэтажного домостроения в зависимости от применяемого материала



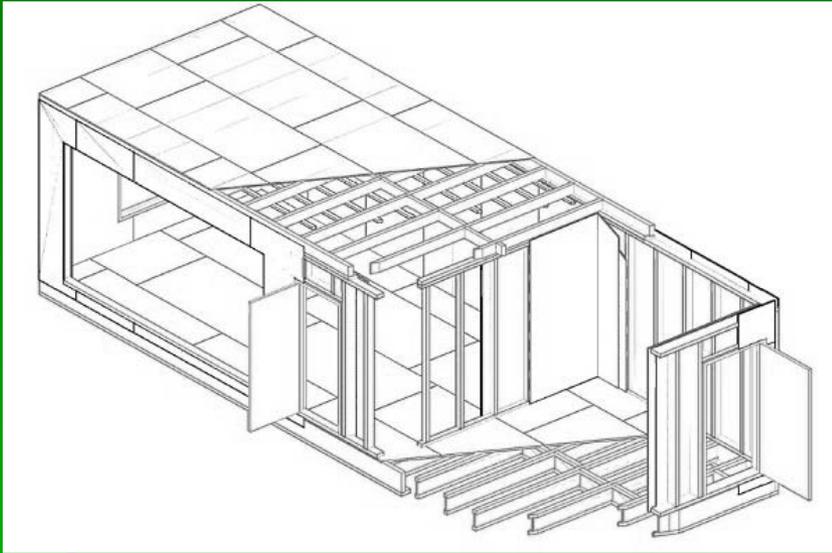
# Модульные здания

В последнее время все чаще стали применяться так называемые модульные здания. Отличительной особенностью этого типа зданий является их высокая заводская готовность.

Объемный модульный элемент - это объемная часть строения, в которой пол, стены и потолок смонтированы воедино уже на заводе. Объемный элемент может включать в себя несколько помещений. Объемный элемент является закрытым, что позволяет уже на заводе:

- установить все двери и окна;
- выполнить полностью внутреннюю отделку помещений (в т.ч. облицовка керамической плиткой и укладка напольных покрытий);
- выполнить преобладающую часть внешней отделки (при использовании легких материалов для наружной отделки);
- проложить в рамках объемного элемента все трубопроводные и кабельные системы: электропроводку, отопление, водоснабжение, канализацию, вентиляцию, охранную сигнализацию, ТВ-систему, автоматическую систему пожаротушения и пр.;
- установить все инженерное оборудование: радиаторы, смесители, унитазы, ванны, раковины, электророзетки, выключатели и т.д.

# Модульные здания на деревянном каркасе



Конструкция модуля на деревянном каркасе

Общий вид здания из объемных модулей

Конструкция модуля представляет из себя деревянный каркас из стоек и балок, заполненный утеплителем. Внутренней и внешней обшивкой служат OSB плиты. Внутренняя отделка выполняется по гипсокартонным листам. Внешней обшивки может и не быть. В таком случае фасадные элементы крепятся непосредственно к стойкам каркаса. Транспортировка модулей к месту строительства может осуществляться водным транспортом и автотрейлерами.

# Расчет стеновой панели. Конструкция панели

В качестве объекта численного исследования была выбрана глухая внутренняя стеновая панель размерами 2,50(н)х6,29 м из деревянного каркаса и односторонней обшивки из OSB/3

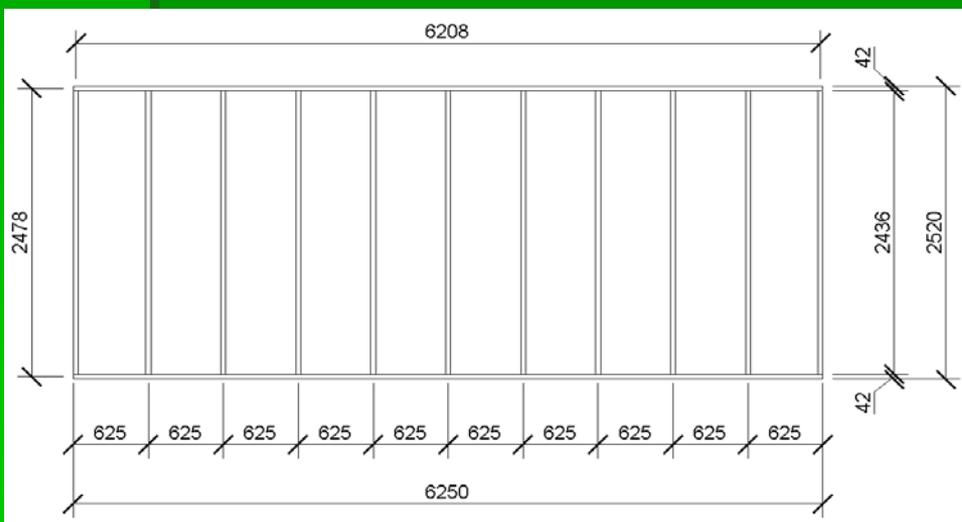
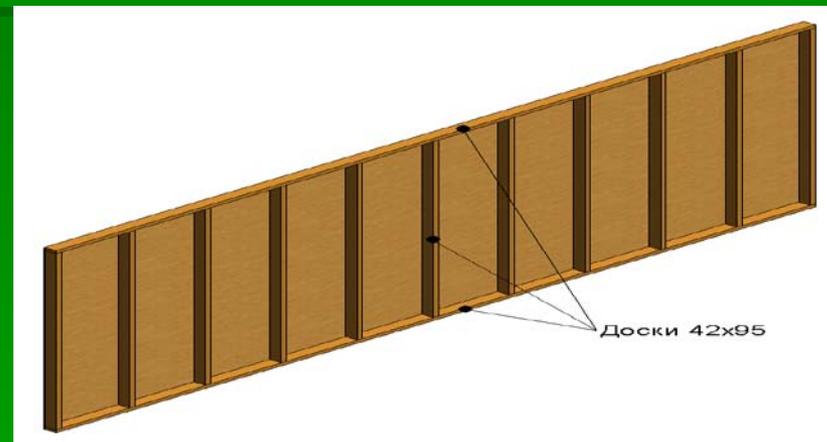
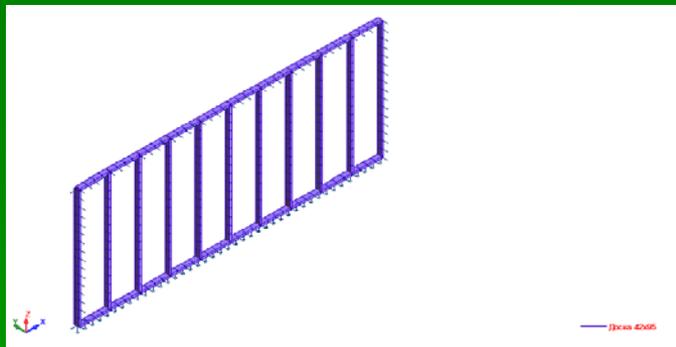


Схема каркаса панели

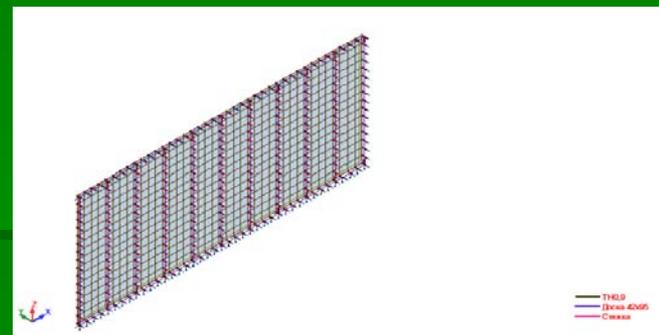


Общий вид стеновой панели

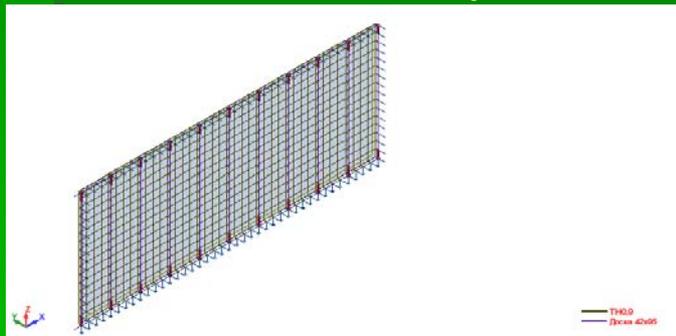
# Расчет 5 вариантов стеновых панелей



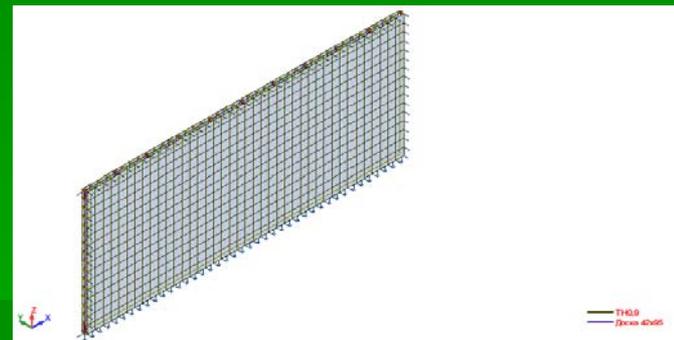
Расчетная схема №1 без учета обшивки



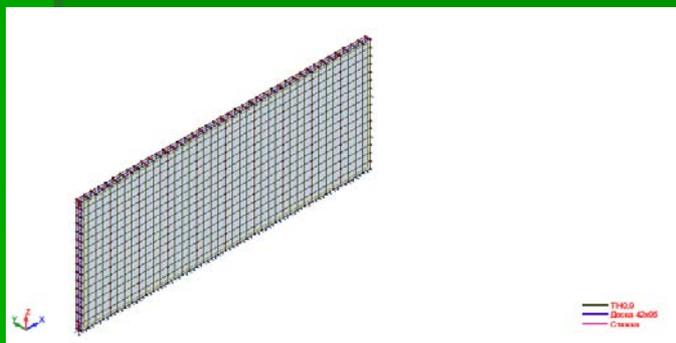
Расчетная схема №3 с обшивкой только с внутренней стороны с учетом податливости связей



Расчетная схема №2 с обшивкой только с внутренней стороны без учета податливости связей



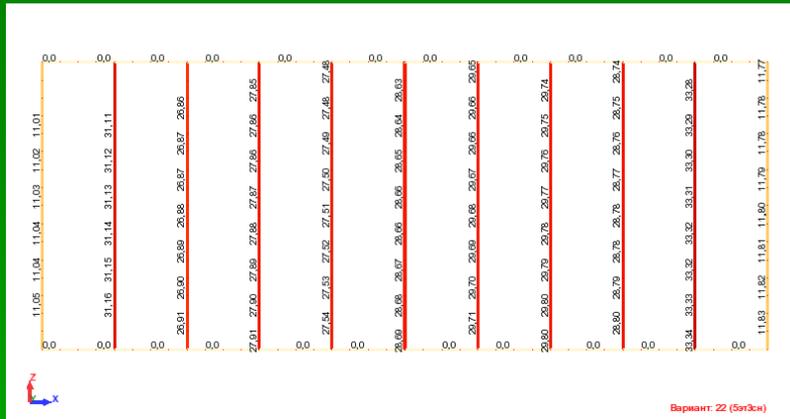
Расчетная схема №4 с двусторонней обшивкой без учета податливости связей



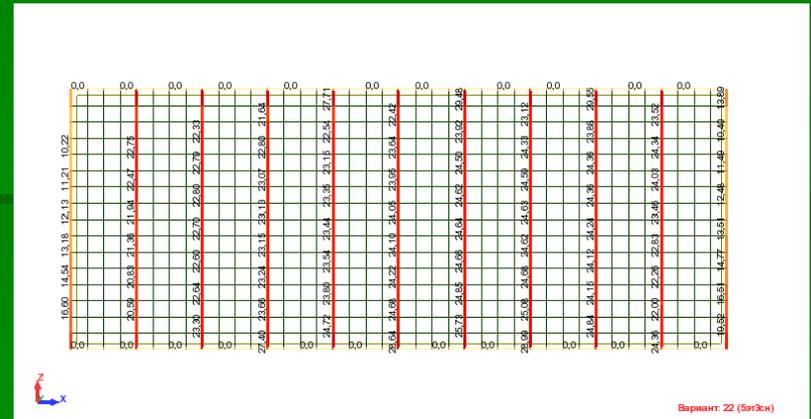
Расчетная схема №5 с двусторонней обшивкой с учетом податливости связей

Численный эксперимент производился в программном комплексе Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2014

# Результаты расчета стеновой панели



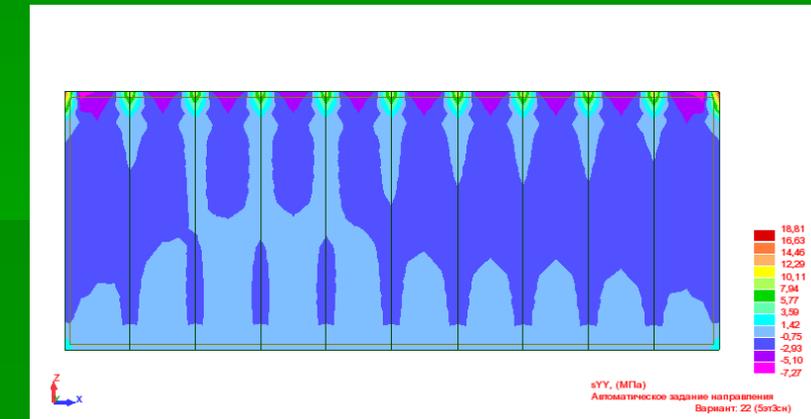
Продольные силы  $F_x$  в стержнях расчетной схемы №1, 5 этажей



Продольные силы  $F_x$  в стержнях расчетной схемы №2, 5 этажей

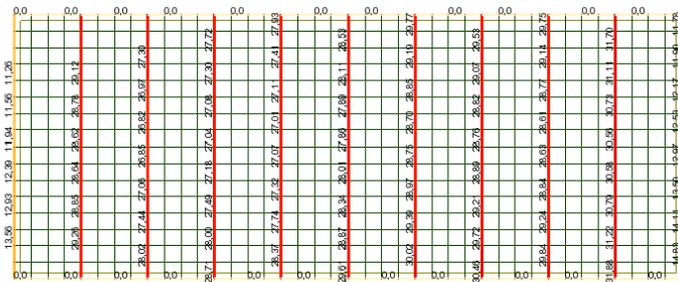


Изгибающие моменты, действующие из плоскости панели  $M_y$  в стержнях расчетной схемы №2, 5 этажей



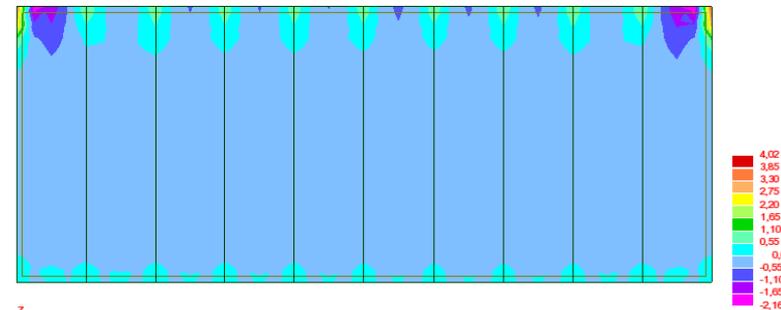
Вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в обшивке расчетной схемы №2, 5 этажей

# Результаты расчета стеновой панели



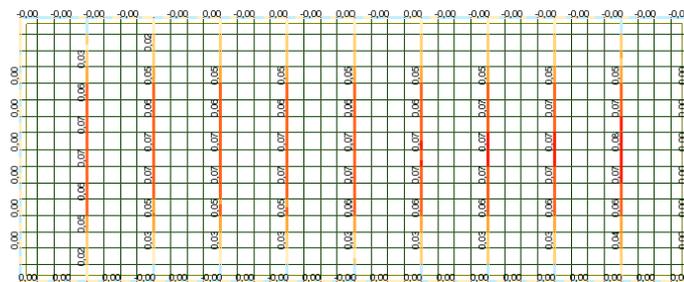
Вариант: 22 (5этЗсн)

Продольные силы  $F_x$  в стержнях  
расчетной схемы №3, 5 этажей



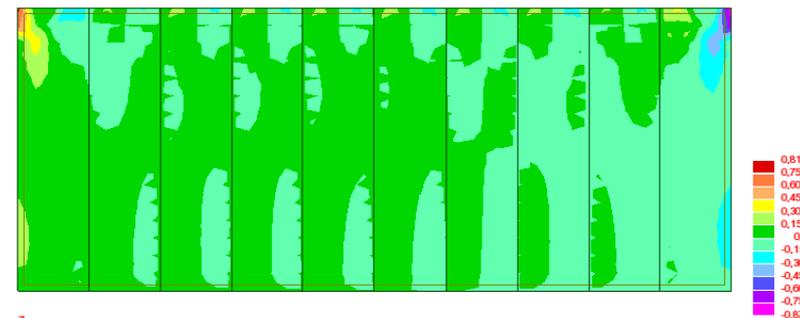
Автоматическое задание направления  
Вариант: 22 (5этЗсн)

Вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в обшивке  
расчетной схемы №3, 5 этажей



Вариант: 22 (5этЗсн)

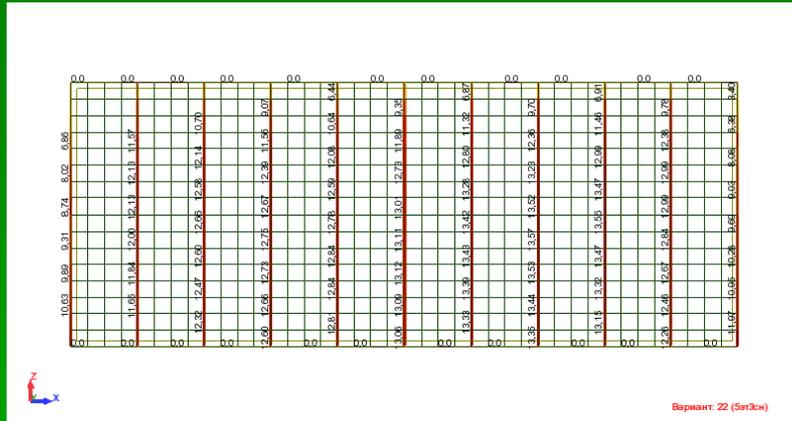
Изгибающие моменты, действующие  
из плоскости панели  $M_u$   
в стержнях расчетной схемы №3, 5  
этажей



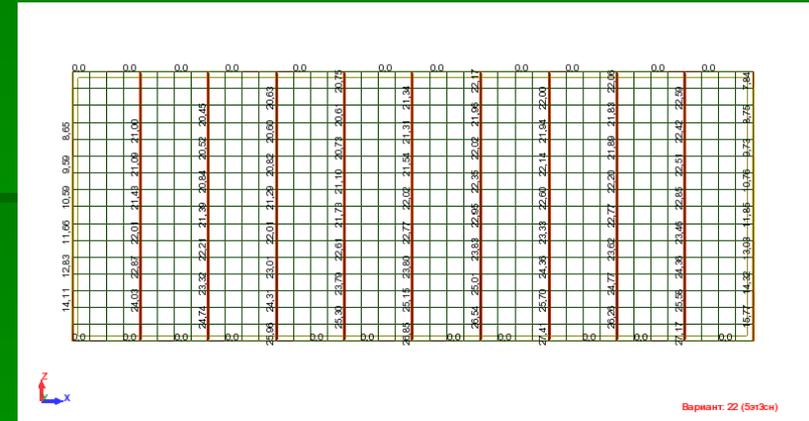
Автоматическое задание направления  
Вариант: 22 (5этЗсн)

Касательные напряжения  $\tau_{xy}$  в обшивке  
расчетной схемы №3, 5 этажей

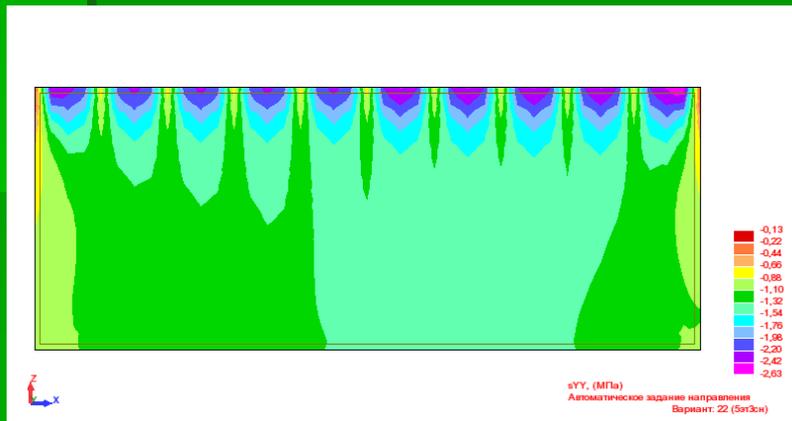
# Результаты расчета стеновой панели



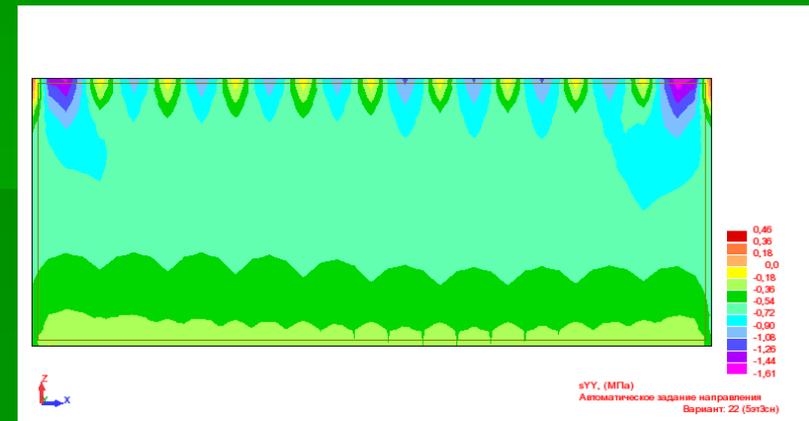
Продольные силы  $F_x$  в стержнях расчетной схемы №4, 5 этажей



Продольные силы  $F_x$  в стержнях расчетной схемы №5, 5 этажей



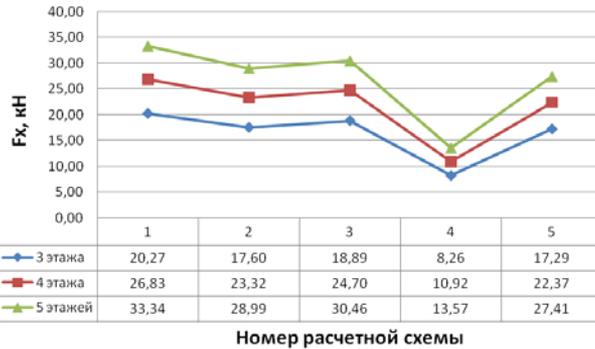
Вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в обшивке расчетной схемы №4, 5 этажей



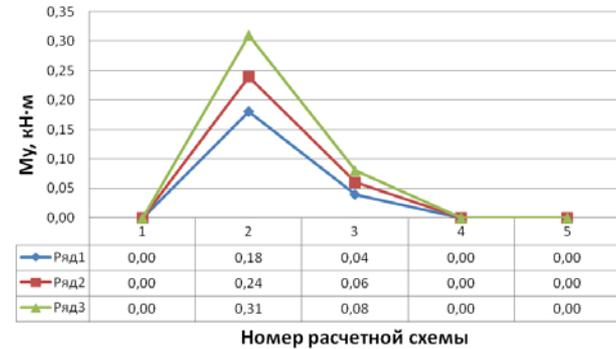
Вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в обшивке расчетной схемы №5, 5 этажей

# Сравнительный анализ результатов расчета стеновой панели для 3, 4, 5 этажей

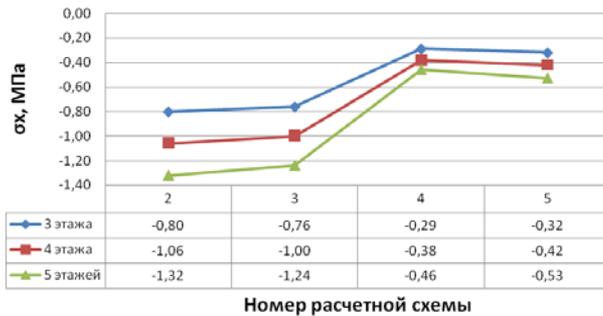
## Продольная сила в стойках Fx



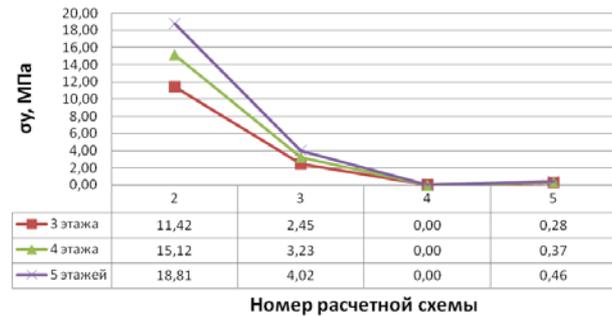
## Изгибающий момент в стойках My



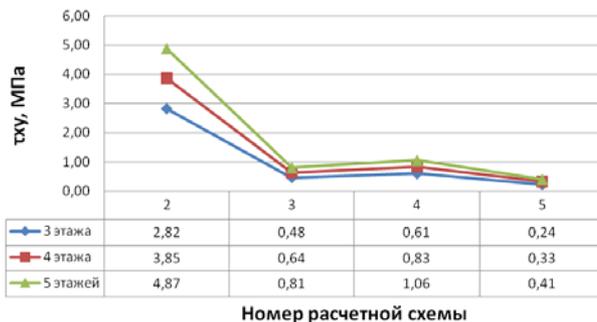
## Сжимающие горизонтальные напряжения в обшивках



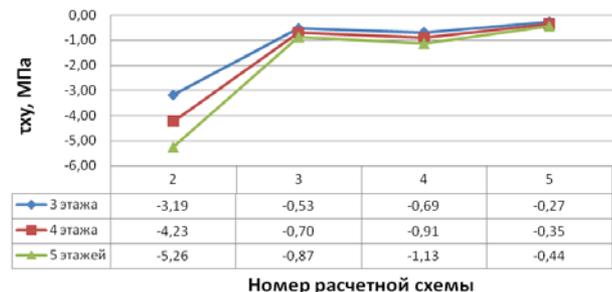
## Растягивающие вертикальные напряжения в обшивках



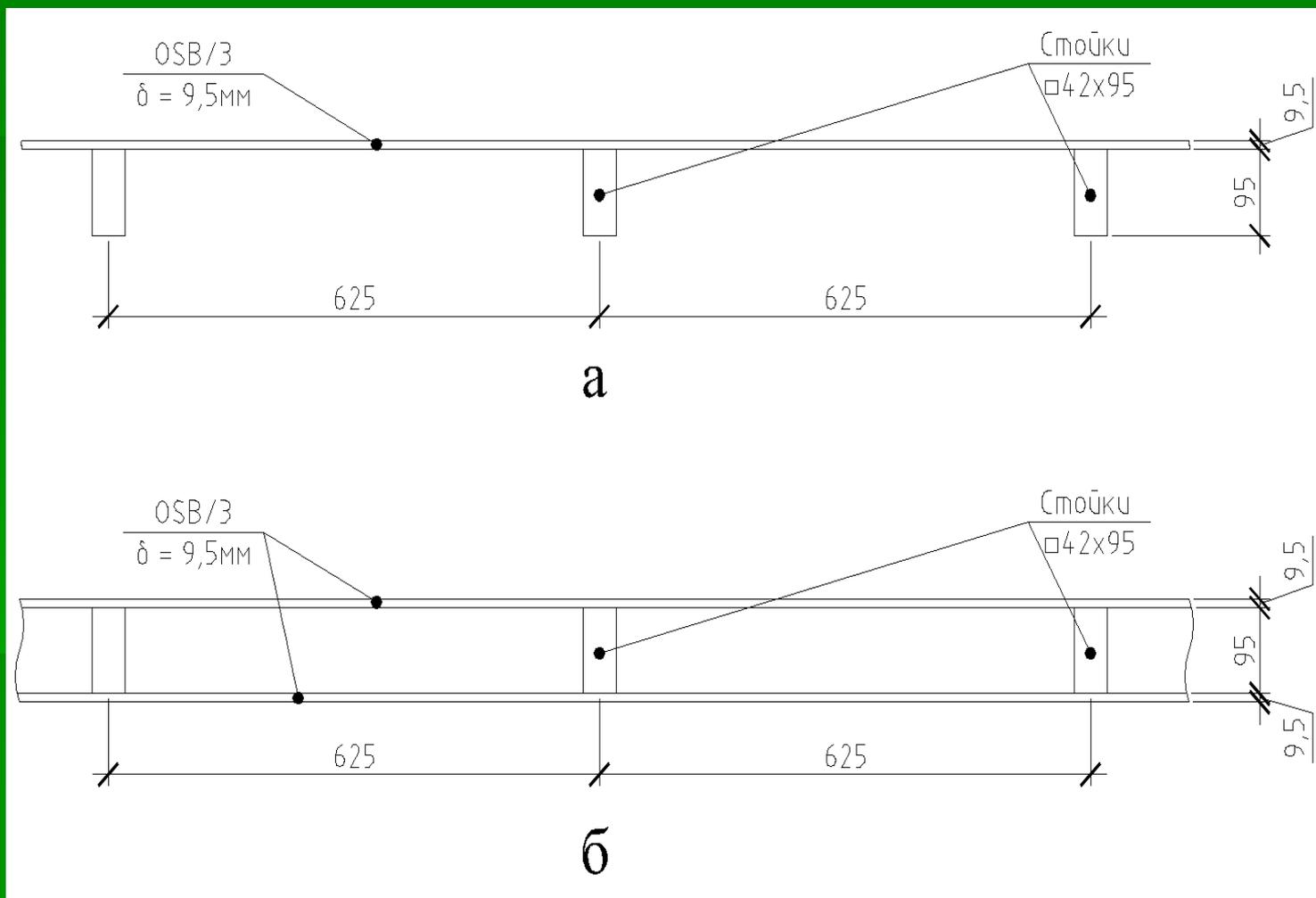
## Максимальные положительные касательные напряжения



## Максимальные отрицательные касательные напряжения



# Сечения панели при односторонней и двухсторонней обшивках



а – при односторонней обшивке; б – при двусторонней обшивке

# Расчет объемного модуля. Конструкция модуля

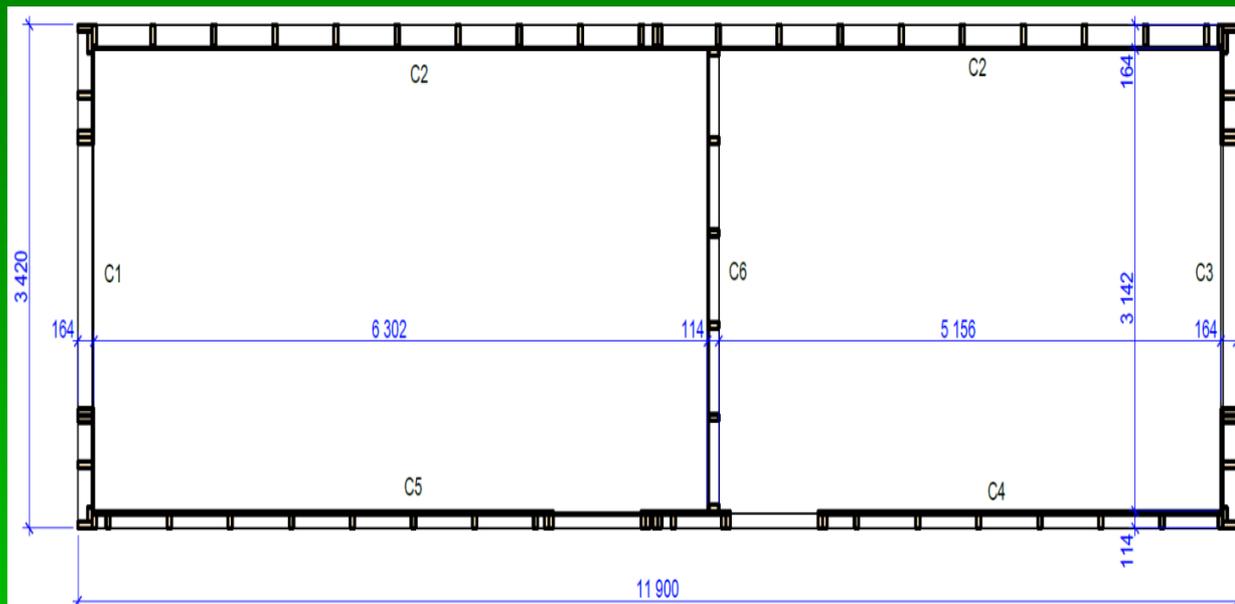
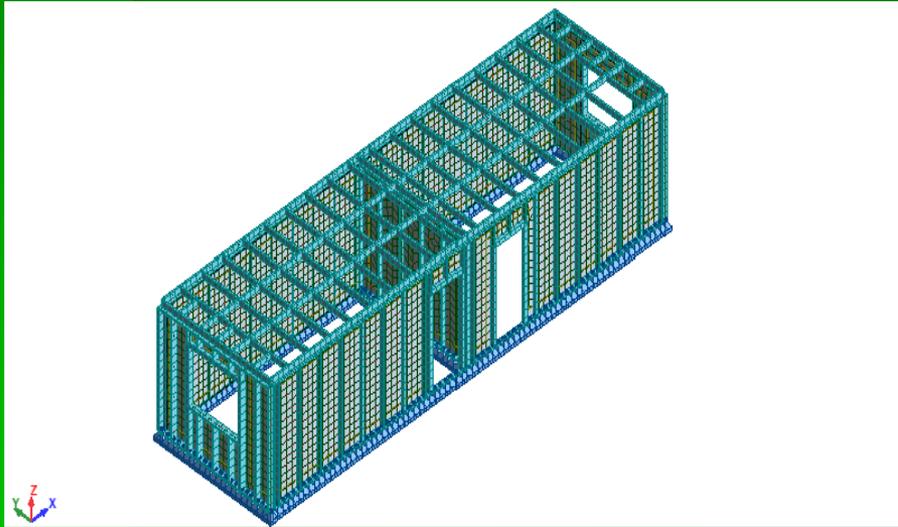


Схема  
расположения  
стеновых панелей в  
модуле

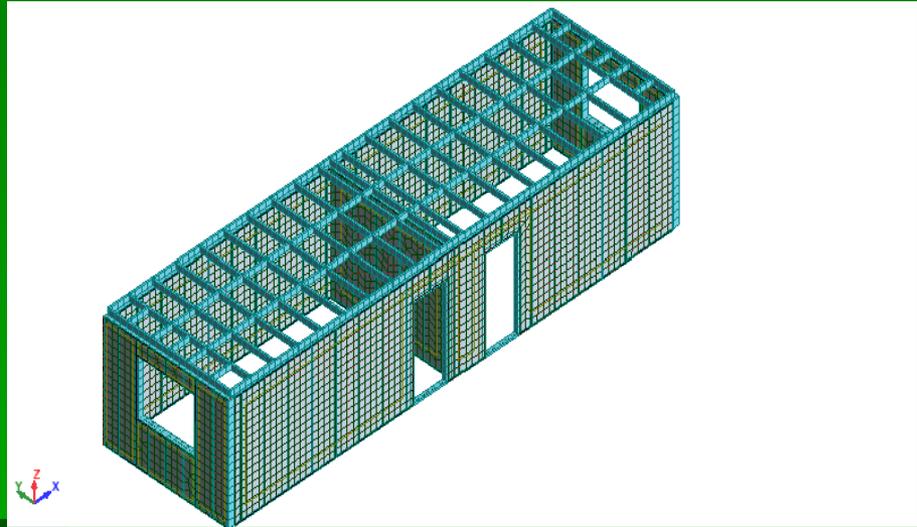
Стойки наружных стеновых панелей имеют сечение 42x145 мм, стойки внутренних – 42x95 мм. В качестве перемычки над проемами используются спаренные доски сечением 42x95 мм с вертикальной ориентацией сечения. Стойки оконных и дверных проемов также спаренные: в наружных панелях – 2 доски 42x145 мм, во внутренних – 2 доски 42x95 мм. Панель потолка выполняется из досок сечением 42x120 мм. По нижней грани имеет обрешетку для крепления гипсокартонных листов потолка.

Панель пола выполняется из композитных балок БДКУ-241, имеющих двутавровое сечение высотой 241 мм. Настил пола выполняется из древесно-стружечных плит толщиной 22 мм. Крепление панелей друг к другу осуществляется на гвоздях с шагом 150 мм.

# Расчет объемного модуля с односторонней и двусторонней обшивками



Расчетная схема модуля с  
односторонней обшивкой

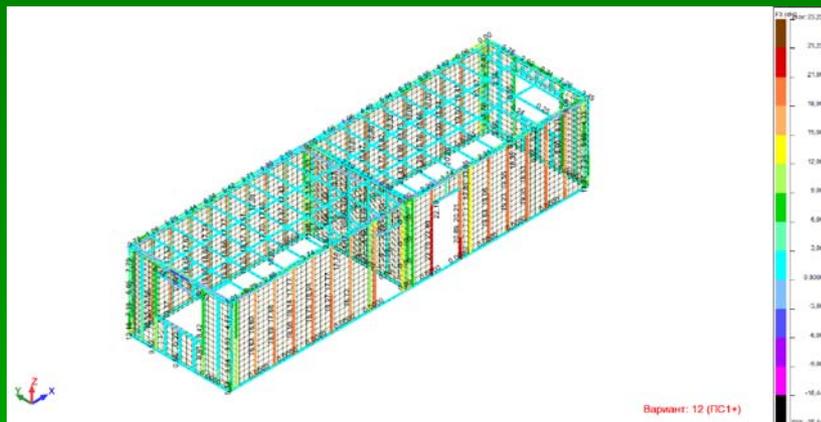


Расчетная схема модуля с  
двусторонней обшивкой

Тип расчетной схемы – «Оболочка», трехмерная модель с 6 узловыми степенями свободы (линейные  $U_x, U_y, U_z$  и угловые  $R_x, R_y, R_z$ ).

Расчет ведем методом конечных элементов в ПК RSA 2014.

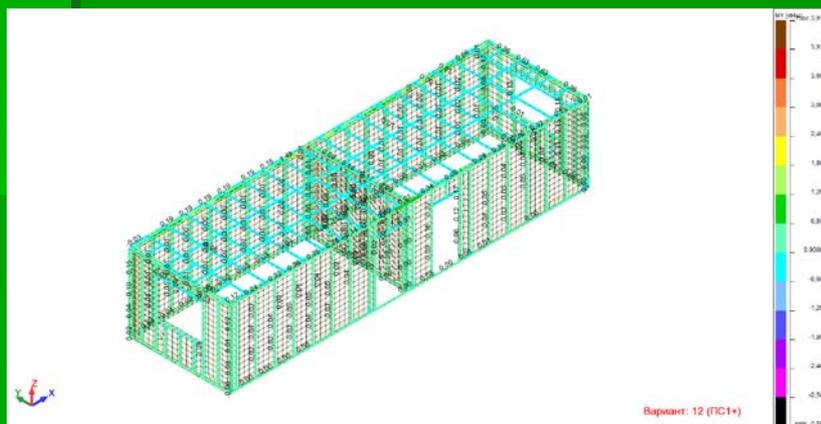
# Усилия и напряжения в элементах модуля с односторонней обшивкой



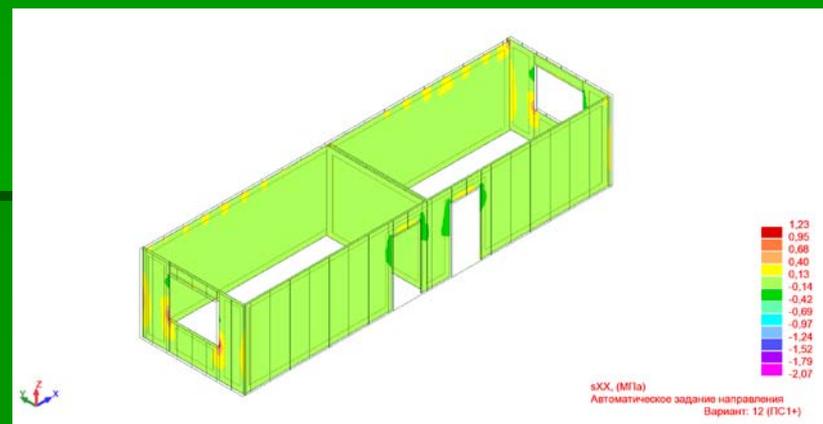
Максимальные продольные силы  $F_x$  в элементах модуля, кН



Максимальные вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в элементах модуля, кН

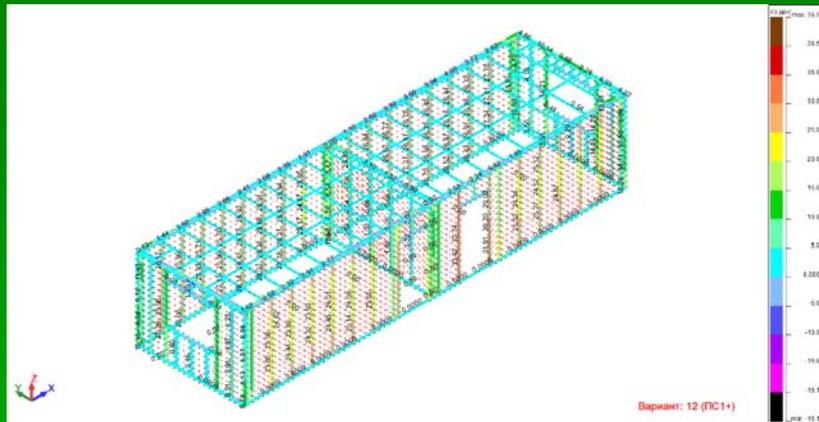


Максимальные изгибающие моменты  $M_y$  в элементах модуля, кН



Максимальные горизонтальные напряжения  $\sigma_x$  в элементах модуля, кН

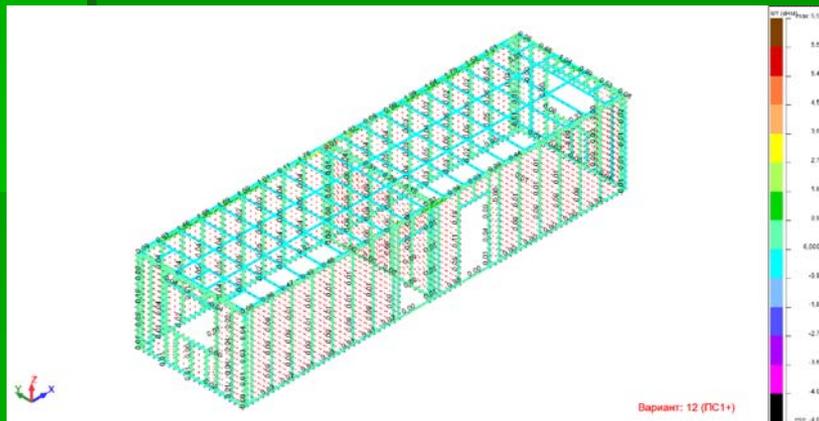
# Усилия и напряжения в элементах модуля с двусторонней обшивкой



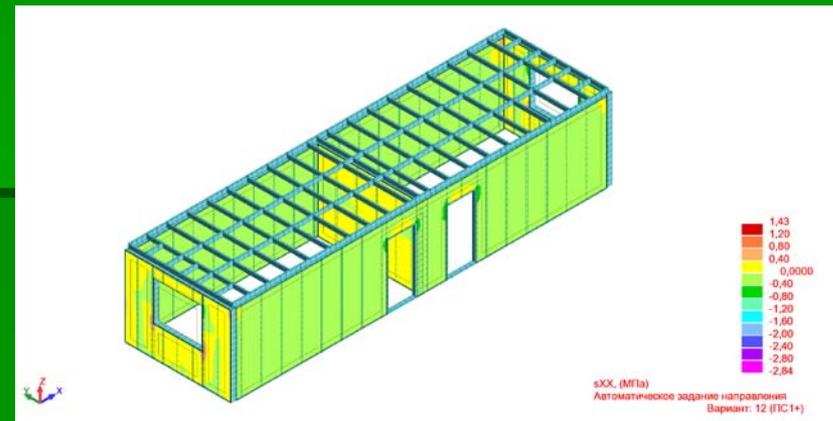
Максимальные продольные силы  $F_x$  в элементах модуля, кН



Максимальные вертикальные напряжения  $\sigma_y$  в элементах модуля, кН

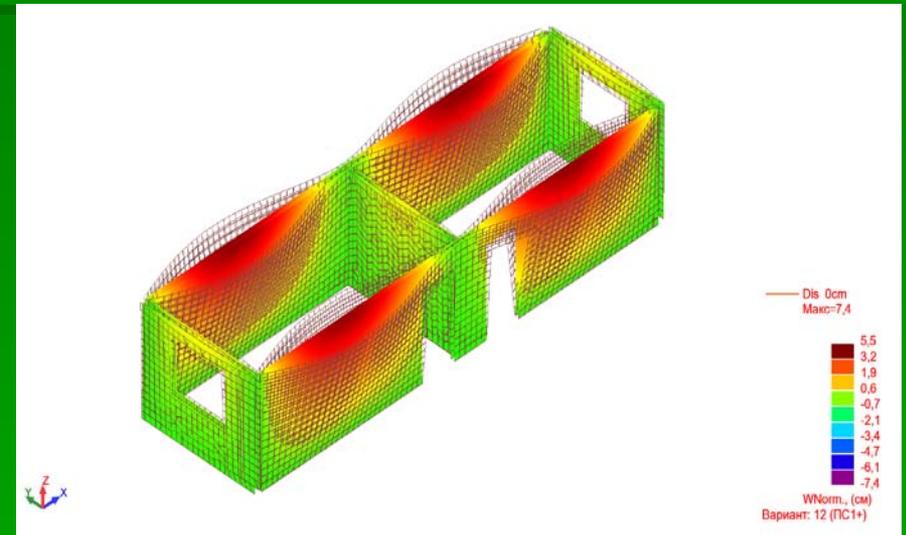
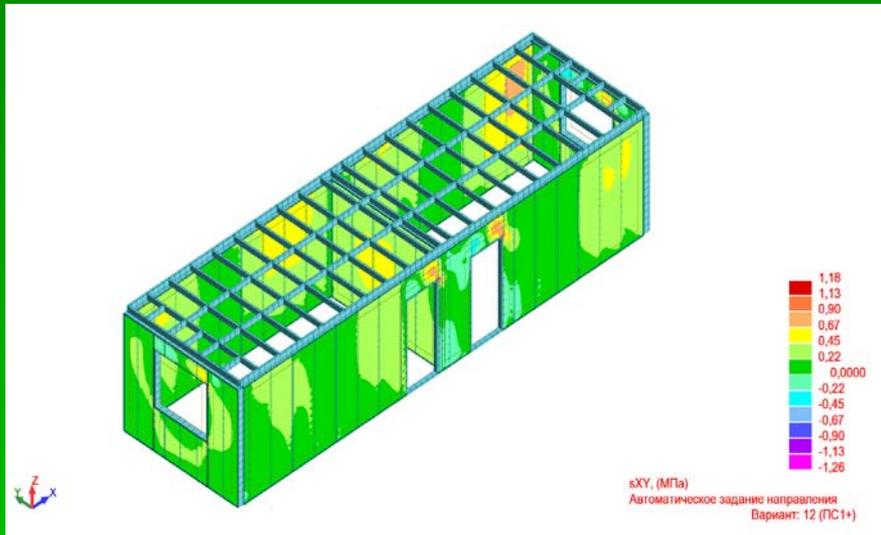


Максимальные изгибающие моменты  $M_y$  в элементах модуля, кН



Максимальные горизонтальные напряжения  $\sigma_x$  в элементах модуля, кН

# Напряжения и деформации в элементах модуля с двусторонней обшивкой



Максимальные касательные напряжения  $\tau_{xy}$  в элементах модуля, кН

Огибающая карта перемещений элементов модуля и максимальные горизонтальные перемещения, кН

# Результаты численного исследования

- 1) Разработана расчетная схема стеновых панелей с обшивкой из OSB с учетом податливости связей. Произведен анализ ее НДС.
- 2) Определен коэффициент включения обшивки в работу стойки, выполнен расчет несущей способности стойки с учетом обшивки.
- 2) Учет пространственной работы модуля влечет за собой изменение НДС конструкций модуля.
- 3) Максимальная этажность модульных зданий на деревянном каркасе с учетом принятых конструктивных решений составляет:
  - при односторонней обшивке стеновых панелей – 2 этажа;
  - при двусторонней обшивке стеновых панелей – 5 этажей.
- 4) В работе не учтены такие факторы, как устойчивость обшивки и влияние толщины обшивки на несущую способность. Эти вопросы заслуживают отдельного исследования.

# Зарубежный опыт строительства модульных зданий. Компания Kodumaja (Эстония)



# **Заводское производство ООО «Билдинг Компани», г.Архангельск**



# Лестничные пролеты в одном из модулей ООО «Билдинг Компани»



## Объекты ООО «Билдинг Компани»



Двухэтажные жилые модульные дома в п.Пинега Архангельской области



18-ти квартирный двухэтажный жилой дом в п.Обозерский Архангельской области

# **Преимущества технологии строительства из объемных модулей**

## **Основные строительные процессы выполняются в заводских условиях**

- нет зависимости от погодных условий, работы выполняются круглый год;
- производственный процесс организован по принципу конвейера и легко контролируется;
- комфортные условия для работников, соблюдение техники безопасности и охраны труда;
- непрерывный контроль качества и соблюдения технологии производства службой технического контроля;

## **Скорость строительства – вне конкуренции**

- изготовление домокомплекта и работы нулевого цикла выполняются одновременно, что в классическом варианте строительства невозможно;
- высокая заводская готовность домокомплекта позволяет уменьшить трудозатраты и накладные расходы на стройплощадке;

## **Низкая стоимость строительства за счет экономии средств**

- уменьшение накладных расходов на командировках, содержании бытовых городков, доставке материалов, простоях из-за снабжения;
- рациональные проектные решения, легкие несущие конструкции и фундаменты, применение технологии сухих методов строительства;
- использование инновационных материалов и технологий.

# Специфические особенности строительства из объемных модулей

- несколько завышенный расход материалов конструкций по отношению к каркасно-панельной технологии, это обеспечивает повышенные эксплуатационные качества здания, улучшает шумопоглощение, теплоизоляцию, увеличивает жесткость каркаса.
- некоторые ограничения в архитектурных решениях, не используется в большепролетных зданиях коммерческого направления с высокими перекрытиями
- транспортные ограничения не позволяют перевозить блоки в труднопроходимые места, а также туда, где отсутствует необходимая грузоподъемная техника
- скептическое отношения некоторых заказчиков к деревянному каркасу как несущей конструкции, что по сути является изжившим себя стереотипом

**Спасибо за внимание!**