

# Информационное моделирование для сохранения культурного наследия: портик здания Нового Эрмитажа и скульптуры Атлантов



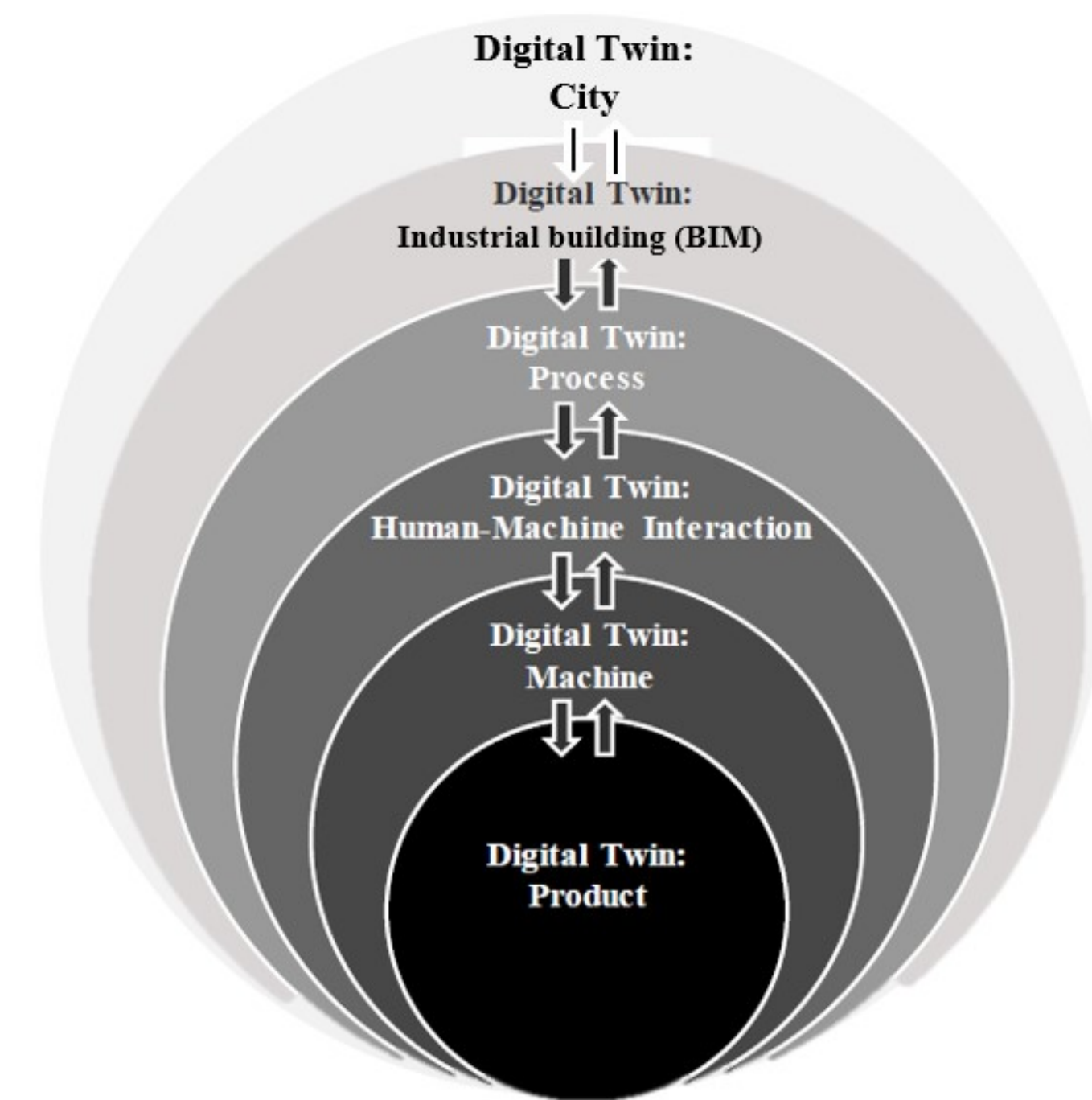
**Баденко Владимир Львович**, д.т.н., профессор СПбПУ Петра Великого,  
Инженерно-строительный институт;  
ведущий научный сотрудник лаборатории Центра НТИ «Новые  
производственные технологии»  
[badenko\\_vl@spbstu.ru](mailto:badenko_vl@spbstu.ru)

Санкт-Петербургский Политехнический университет Петра Великого  
Центр НТИ «Новые производственные технологии»

06 октября 2021

# Тренды и вызовы

- Цифровые технологии позволяют существенно снижать транзакционные издержки
  - Стратегия ТЭК до 2030 года от 09.06.2020 года, провести цифровизацию на 80% производственных объектов к 2030 году
  - Во что вкладываются миллиарды? Экономическая выгода от цифровизации очевидна
- Трансформация существующих производственных объектов в «Фабрики Будущего»:
  - Цифровой паспорт
  - Цифровой двойник
  - Информационно-аналитические и прогнозные модели
  - Цифровизация технологических и бизнес-процессов



# ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА И СТИМУЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ <https://www.faufcc.ru/>

МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА РФ СОЗДАЛО ПРАВОВОЕ ПОЛЕ ДЛЯ ВНЕДРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

**01.07.19** 151-й ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ЗАКОН



ВПЕРВЫЕ В ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОМ КОДЕКСЕ ЗАКРЕПЛЕНО ПОНЯТИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ЭТО ОТКРЫЛО ПЕРЕД СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛЮ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

**15.09.20** ПОСТАНОВЛЕНИЕ ОБ ИНФОРМАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ



ЭТИМ ДОКУМЕНТОМ ВНЕДРЯЕТСЯ НОВЫЙ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ ПОДХОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕХНОЛОГИЙ BUILDING INFORMATION MODEL (BIM), КОТОРЫЙ ЯВЛЯЕТСЯ ОДНИМ ИЗ ЭЛЕМЕНТОВ ЦИФРОВИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ



ПРЕДПОЛАГАЕТСЯ, ЧТО ПРИМЕНЕНИЕ BIM-ТЕХНОЛОГИИ ПОЗВОЛИТ ОТСЛЕЖИВАТЬ СОСТОЯНИЕ ОБЪЕКТА НА ПРОТЯЖЕНИИ ВСЕГО ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА. ЭТО ТАКЖЕ ДОЛЖНО УЛУЧШИТЬ КАЧЕСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА И СНИЗИТЬ РИСКИ ОШИБОК И ПОТЕРЬ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ МАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ



МИНСТРОЙ НАМЕРЕН ПОДКЛЮЧИТЬ ВЛАСТИ РЕГИОНОВ К РАЗВИТИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ В РОССИИ



BIM-ЦЕНТРЫ ДОЛЖНЫ ОБЪЕДИНИТЬ В СЕБЕ СООТВЕТСТВУЮЩИЕ КОМПЕТЕНЦИИ В СФЕРЕ ЭКСПЕРТИЗЫ, СТРОИТЕЛЬНОГО НАДЗОРА, А ТАКЖЕ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕГИОНАЛЬНЫХ ЗАКАЗЧИКОВ СТРОИТЕЛЬНЫХ РАБОТ

**05.03.21** ПОСТАНОВЛЕНИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА РФ №331



С 1 ЯНВАРЯ 2022 ГОДА ФОРМИРОВАНИЕ И ВЕДЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОКС СТАНЕТ ОБЯЗАТЕЛЬНЫМ УСЛОВИЕМ ПРИ ЗАКЛЮЧЕНИИ ДОГОВОРА О ПОДГОТОВКЕ ПРОЕКТНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА, РЕКОНСТРУКЦИИ, КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА ОБЪЕКТА, ФИНАНСИРУЕМОГО С ПРИВЛЕЧЕНИЕМ БЮДЖЕТНЫХ СРЕДСТВ – ЗА ИСКЛЮЧЕНИЕМ ОБЪЕКТОВ, СТРОЯЩИХСЯ В ИНТЕРЕСАХ ОБОРОНЫ И БЕЗОПАСНОСТИ ГОСУДАРСТВА

**2021 III** КВАРТАЛ МИНСТРОЙ ДОЛЖЕН РАЗРАБОТАТЬ ТИПОВЫЕ ТРЕБОВАНИЯ НА ВЫПОЛНЕНИЕ ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬСКИХ РАБОТ

**2021 IV** КВАРТАЛ В СОСТАВЕ ГИСОГД РФ ДОЛЖЕН ПОЯВИТЬСЯ РЕЕСТР ДОКУМЕНТОВ В ОБЛАСТИ ИНЖЕНЕРНЫХ ИЗЫСКАНИЙ, ПРОЕКТИРОВАНИЯ, СТРОИТЕЛЬСТВА И СНОСА

С 2020 ГОДА РАЗРАБОТАНЫ И УТВЕРЖДЕНЫ НПА

1

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ № 1416 ОТ 12.09.2020 «ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ КЛАССИФИКАТОРА СТРОИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ»

2

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ № 1431 ОТ 15.09.2020 «ОБ УТВЕРЖДЕНИИ ПРАВИЛ ФОРМИРОВАНИЯ И ВЕДЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА КАПИТАЛЬНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА...»

3

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ № 1558 ОТ 28.09.2020 «О ГОСУДАРСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»

4

ПОСТАНОВЛЕНИЕ ПРАВИТЕЛЬСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ № 331 ОТ 05.03.2021 ПЕРЕЧЕНЬ СЛУЧАЕВ, ПРИ КОТОРЫХ ДОЛЖНА ИСПОЛЬЗОВАТЬСЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ

# Национальные стандарты

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ		
	НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	ПРОЕКТ ГОСТ Р
Компьютерные модели и моделирование Цифровые двойники изделий Общие положения		
Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения		
Москва Стандартинформ 2021		

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ		
	ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ	ПНСТ 429— 2020
Умное производство ДВОЙНИКИ ЦИФРОВЫЕ ПРОИЗВОДСТВА Часть 1 Общие положения		
Издание официальное		
Москва Стандартинформ 2020		



## Концепция цифровых двойников производства

Цифровой двойник производства может существовать на протяжении всего жизненного цикла и может использовать аспекты виртуальной среды (высокая точность, мультифизические возможности, внешние источники данных и т. д.), вычислительные методы (виртуальное тестирование, оптимизация, прогнозирование и т. д.), а также аспекты физической среды (динамика показателей производительности, отзывы клиентов, стоимость и т. д.) для улучшения элементов всей системы (конструкции, поведения, технологичности и т. д.).

# Цели создания системы стандартов «Единая система информационного моделирования» (ЕСИМ)

- Формирование основы для объединения подходов: документо-ориентированного, модели-ориентированного и дата-центричного;
- Объединение в рамках единой системы области стандартизации строительной и машиностроительной индустрий;
- Интеграция классического проектирования, математического и имитационного моделирования;
- Формирование единых требований к информационному моделированию в разных отраслях на разных этапах жизненного цикла объектов различных ТИПОВ.

# ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНФОРМАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ (BIM)

<https://www.faufcc.ru/>

Мнение: Федеральный центр нормирования, стандартизации и технической оценки соответствия в строительстве

## НАИБОЛЕЕ ВЕСОМЫЕ ЭФФЕКТЫ ОТ ТИМ

- ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОЕКТА В РАМКАХ БЮДЖЕТА
- УВЕЛИЧЕННАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ТРУДА
- ПОВЫШЕНИЕ ПРИБЫЛЬНОСТИ ПРОЕКТОВ
- ЗАВЕРШЕНИЕ ПРОЕКТОВ В СРОК
- ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ НА ПРОИЗВОДСТВЕ
- ВОЗМОЖНОСТЬ БЫСТРЕЕ ПРИНИМАТЬ РЕШЕНИЯ

## РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭКОНОМИИ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТИМ ПО ЭТАПАМ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА (ОТ 100%)

**35 %** СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

**3 %** СОКРАЩЕНИЯ ЗАТРАТ НА ЭТАПАХ ЗАКУПОК И СТРОИТЕЛЬСТВА

**61 %** СОКРАЩЕНИЕ ЗАТРАТ НА ЭТАПЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

## СОВОКУПНОЕ ВРЕМЯ УМЕНЬШЕНИЯ РАБОТЫ

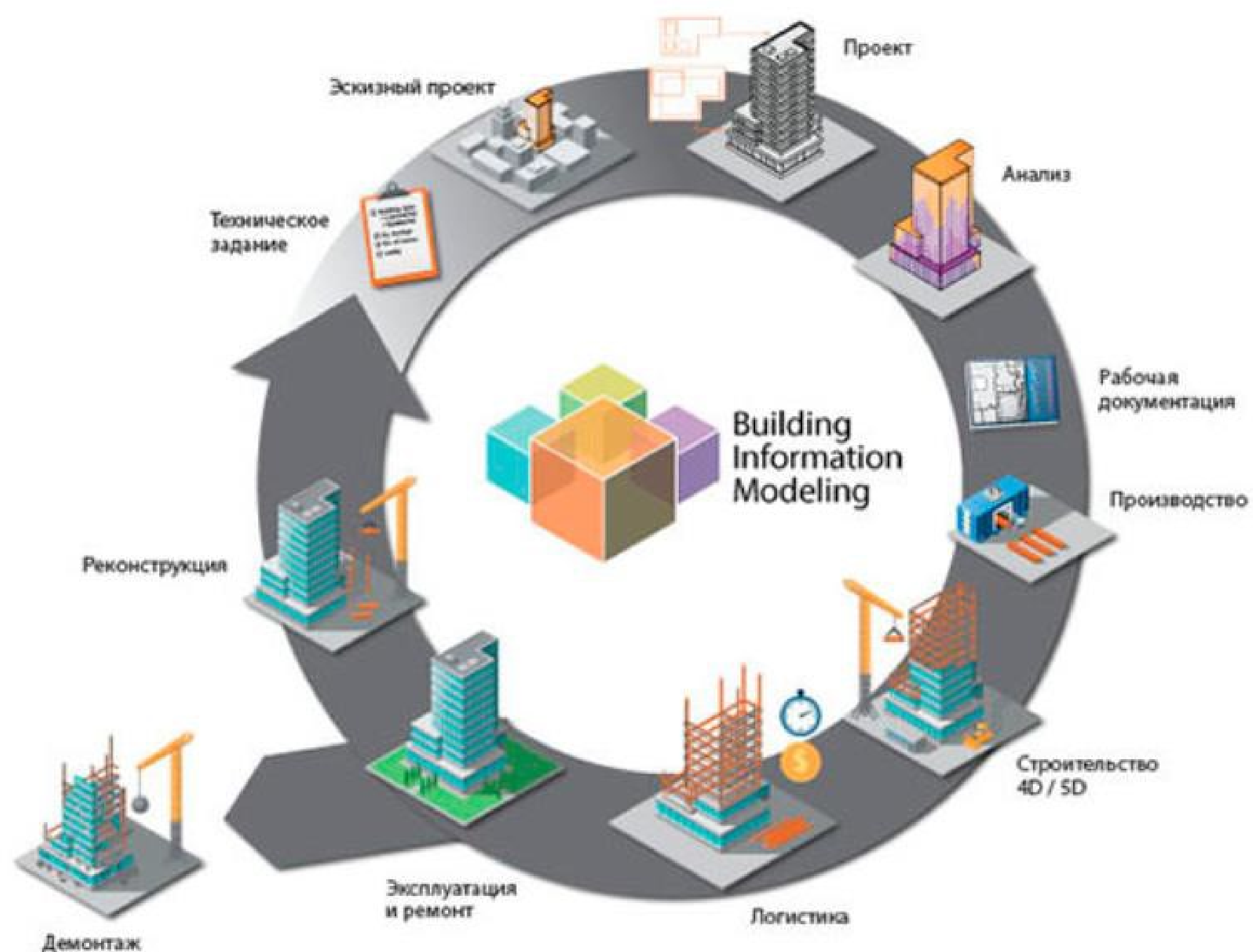
ТЕХНОЛОГОВ

**20** НА  
%

АРХИТЕКТОРОВ

**10** НА  
%

## Цифровизация в строительной отрасли

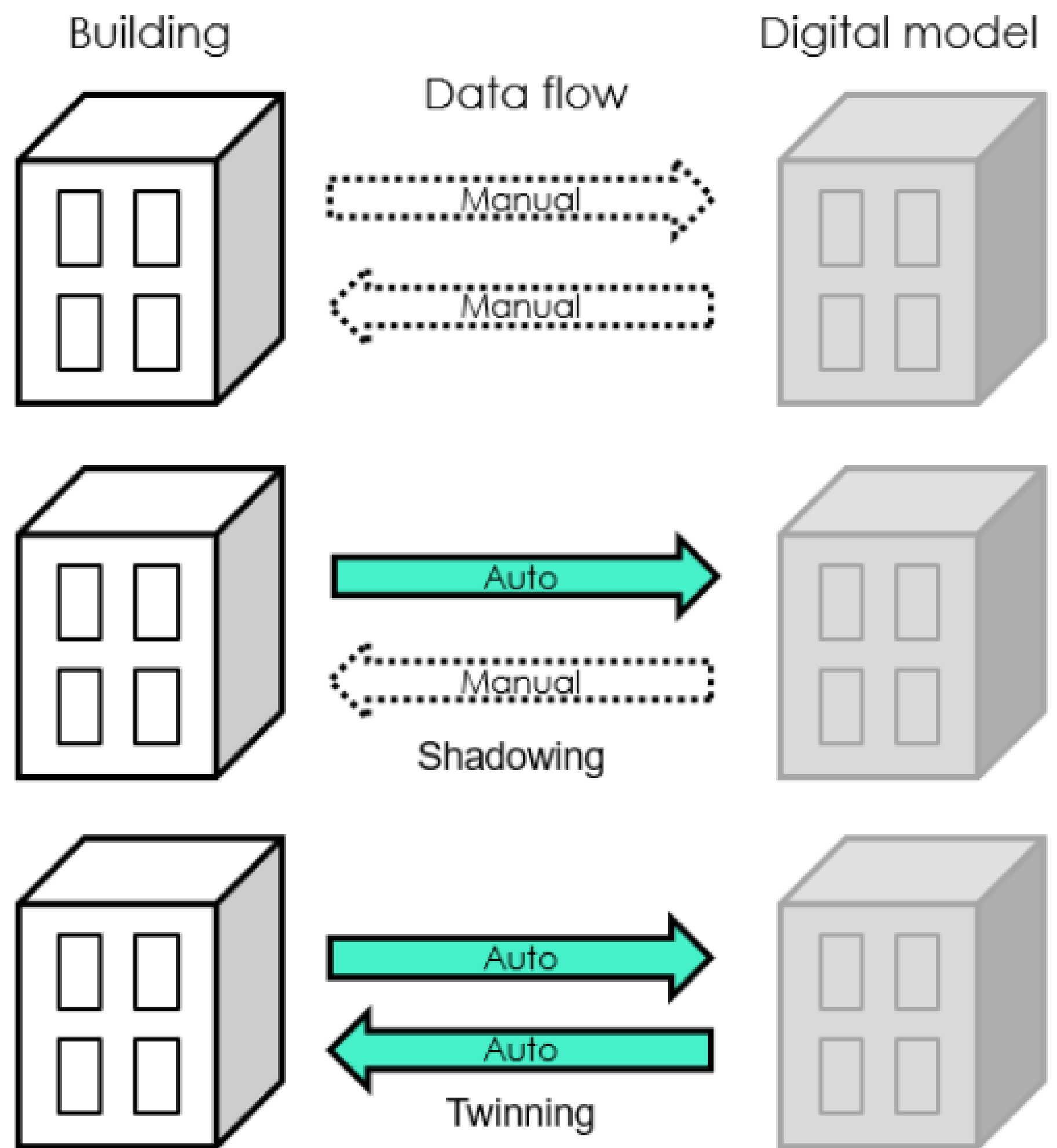


### Уровни цифровизации:

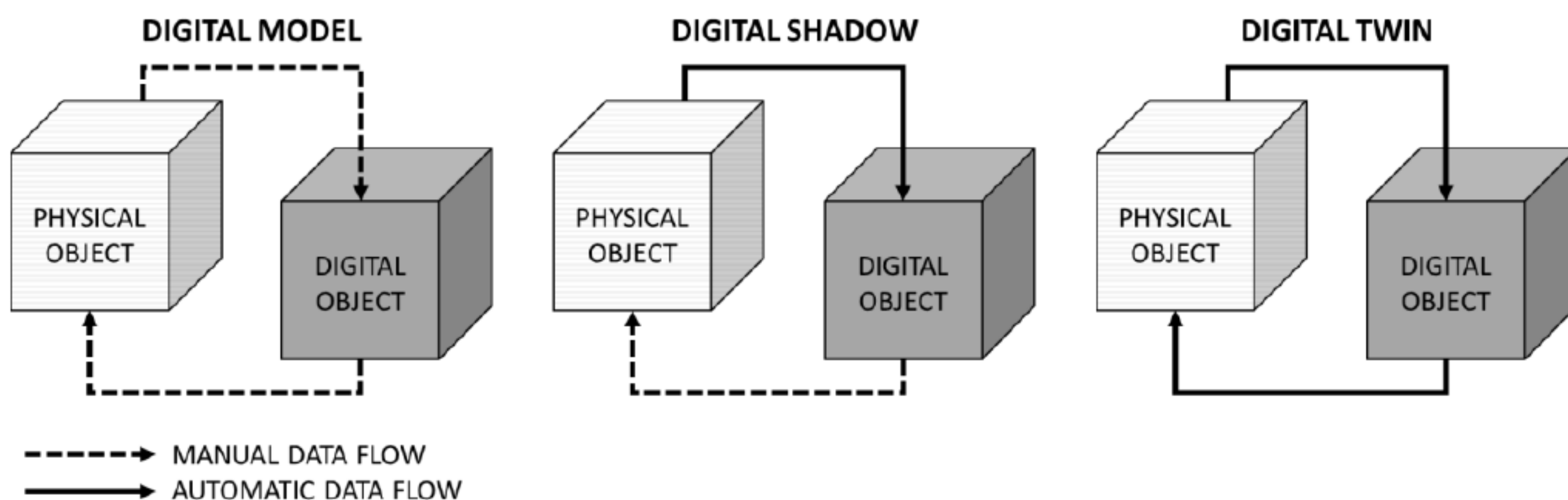
- Проектирования – BIM технология для проектной документации (**as-designed BIM**);
- Строительства – разработка цифрового плана объекта строительства (**as-built BIM**);
- Эксплуатация – модели, основанные на текущей ситуации (**as-is BIM**);
- Утилизация – на основе проектной документации и актов обследования.

**Вызов – развитие цифровых технологий на всех этапах жизненного цикла инженерной инфраструктуры (здания – BIM) и производственного процесса (DT)**

# VIM (модель инфраструктуры) и цифровые двойники

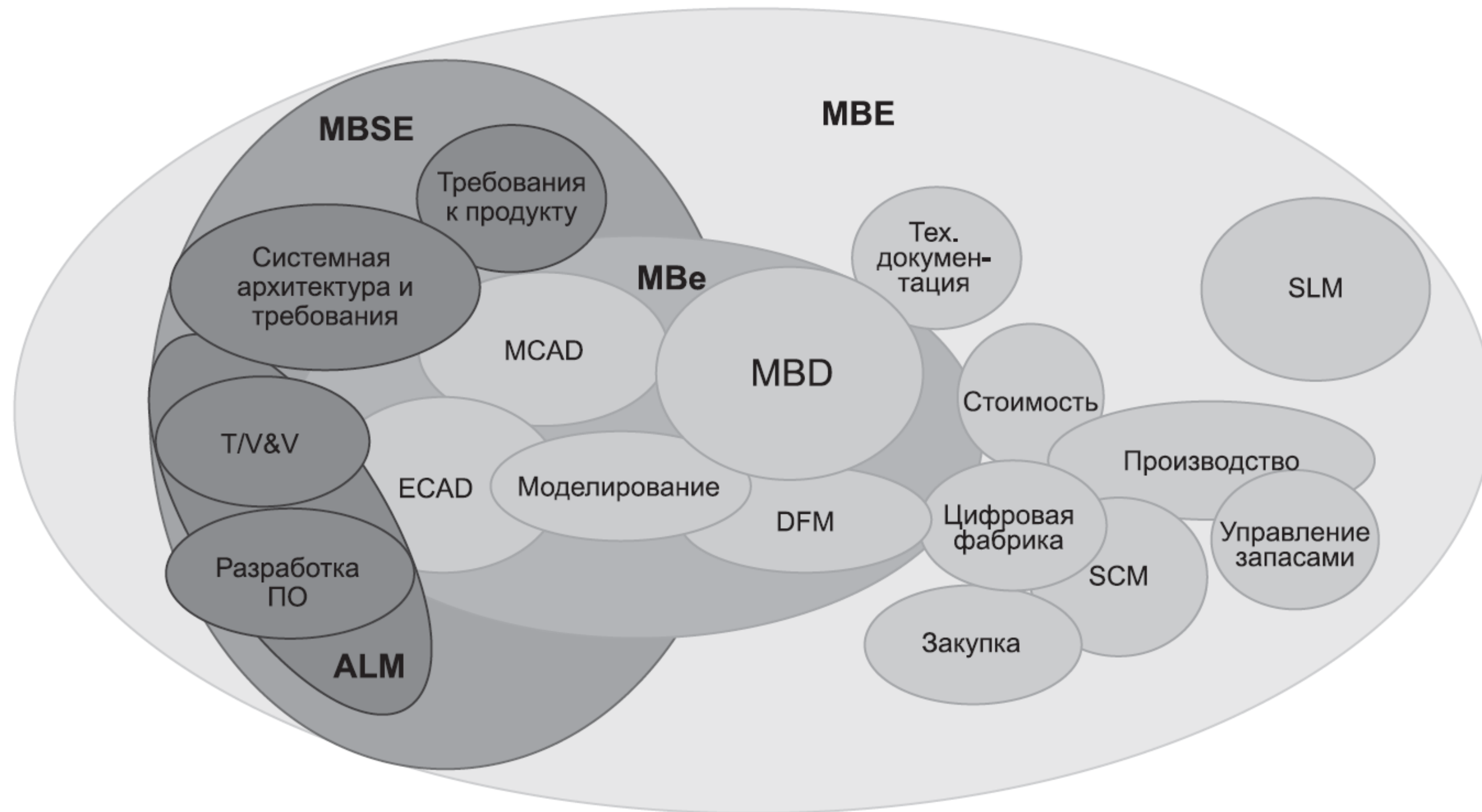


Наличие и направление автоматического потока данных между зданием и его цифровым представлением определяет, является ли это простой цифровой моделью, тенью здания или цифровым двойником.





# MBSE (Model Based System Engineering)



Все документы, все свойства, все представления об изделии должны генерироваться из этой объединенной модели, которая является **«единым источником истины»**. Т.е., изменения в одной системе должны автоматически отражаться в других, обеспечивая единую картину, «единую истину».

В основе концепции MBSE лежит идея **создания единой модели** производственной системы, объединяющей все ее характеристики и свойства в рамках одной модели. Применение моделирования для поддержки формирования требований, поддержки проектирования, анализа, верификации и валидации системы на ее жизненном цикле.

# Зачем нужен BIM?

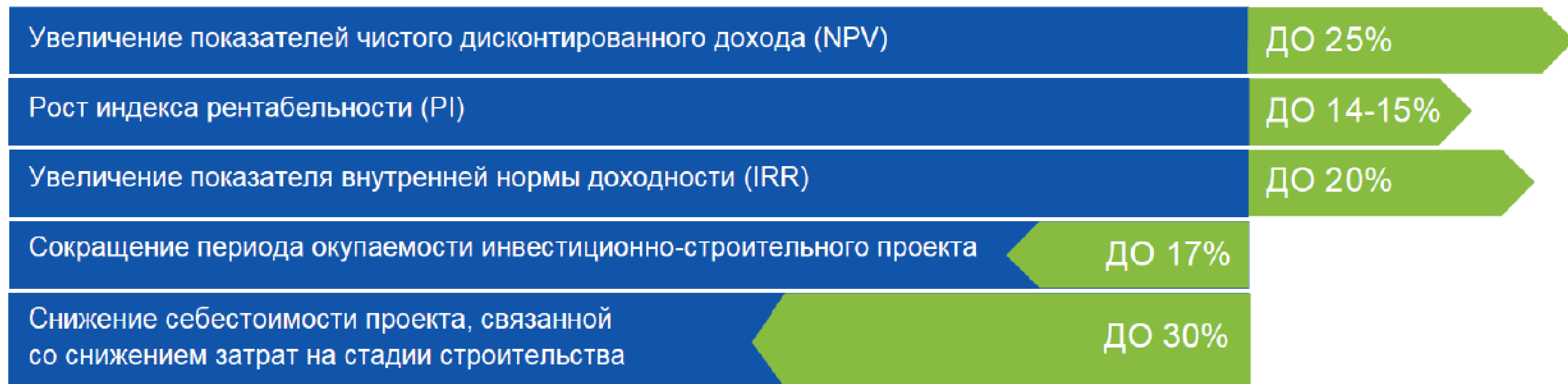
## Устранение транзакционных издержек

- Издержки поиска информации и выявления альтернатив
- Издержки измерения
- Издержки ведения переговоров и заключения контрактов
- Издержки спецификации и защиты прав собственности
- Издержки оппортунистического поведения

Решение проблемы асимметрии информации – когда одна из сторон обладает информацией, недоступной другой. С помощью информационного моделирования актуальная информация о ходе реализации проекта, которая располагается в среде общих данных становится доступна всем участникам строительства.

# Оценка применения BIM-технологий в строительстве

НИУ МГСУ совместно с ООО «КОНКУРАТОР».



# Наполнение модели BIM 7D (новое строительство)

## Наполнение модели BIM 7D

**BIM 3D\***  
скоординированная модель

- визуализированная;
- скоординированная;
- моделирование воздействий окружающей среды (солнце, ветер, осадки...);
- с верными инженерными решениями;
- проверенная на коллизии;
- сформирована рабочая документация

**BIM 4D = 3D + время**

- календарные графики;
- сетевые графики;
- управление логистикой;
- визуализация строительства

**BIM 5D = 4D + деньги**

- прогнозирование финансовых потоков;
- выгрузка объёмов материалов/работ/оборудования для моделирования расходов;
- контроль стоимости проекта

**BIM 6D - 5D + процессная модель**

- учет и прогноз отклонений;
- проактивное принятие решений;
- снижение непроизводительного времени;
- эффективная координация работ

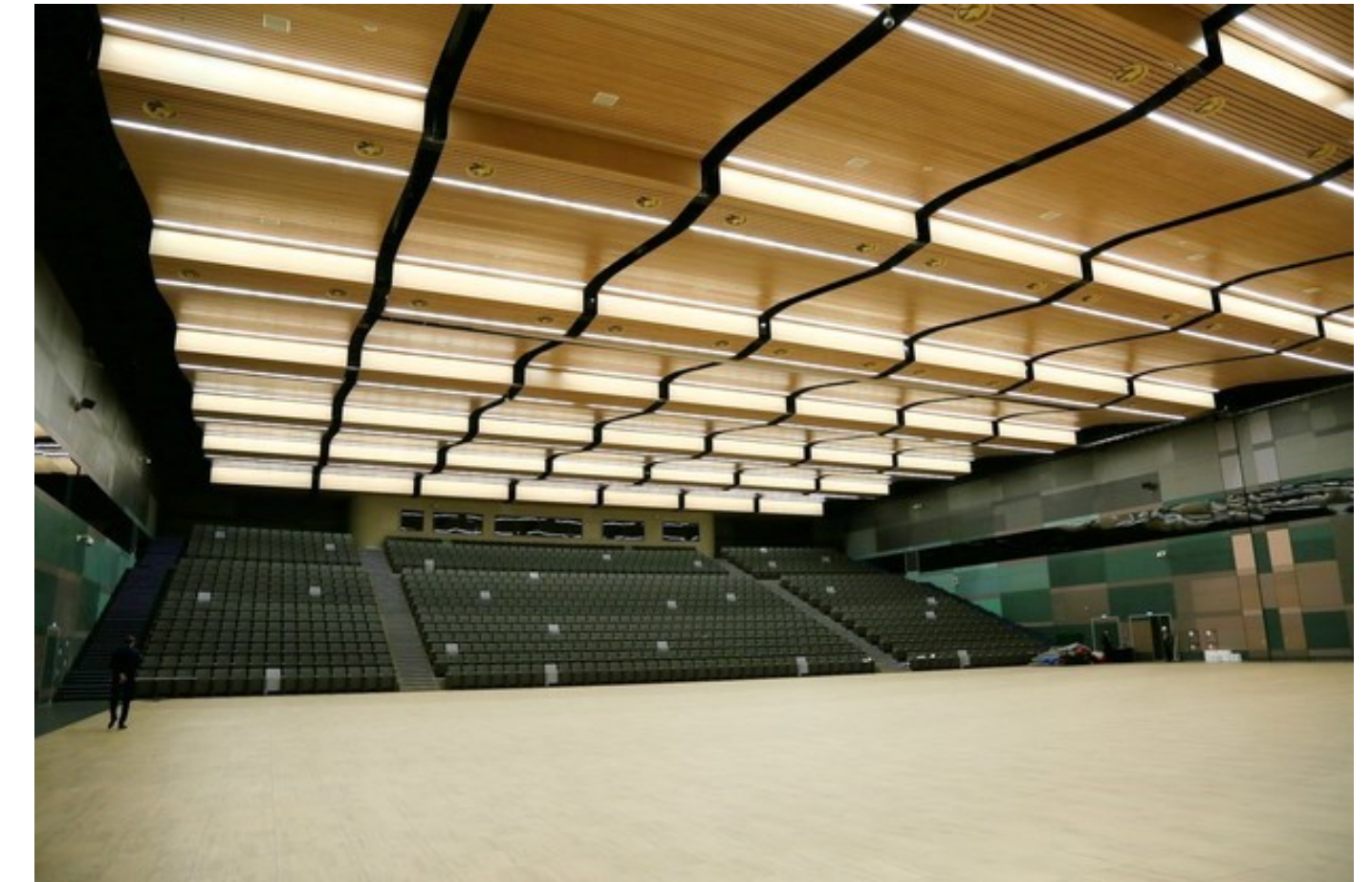
**BIM 7D - эксплуатация и управление объектом**

- мониторинг состояния;
- электронный паспорт;
- ремонт и обслуживание;
- реконструкция;
- энергоэффективность;

# Оценка эффективности работы приточно-вытяжной вентиляции зала пленарных заседаний Экспофорума в Санкт-Петербурге

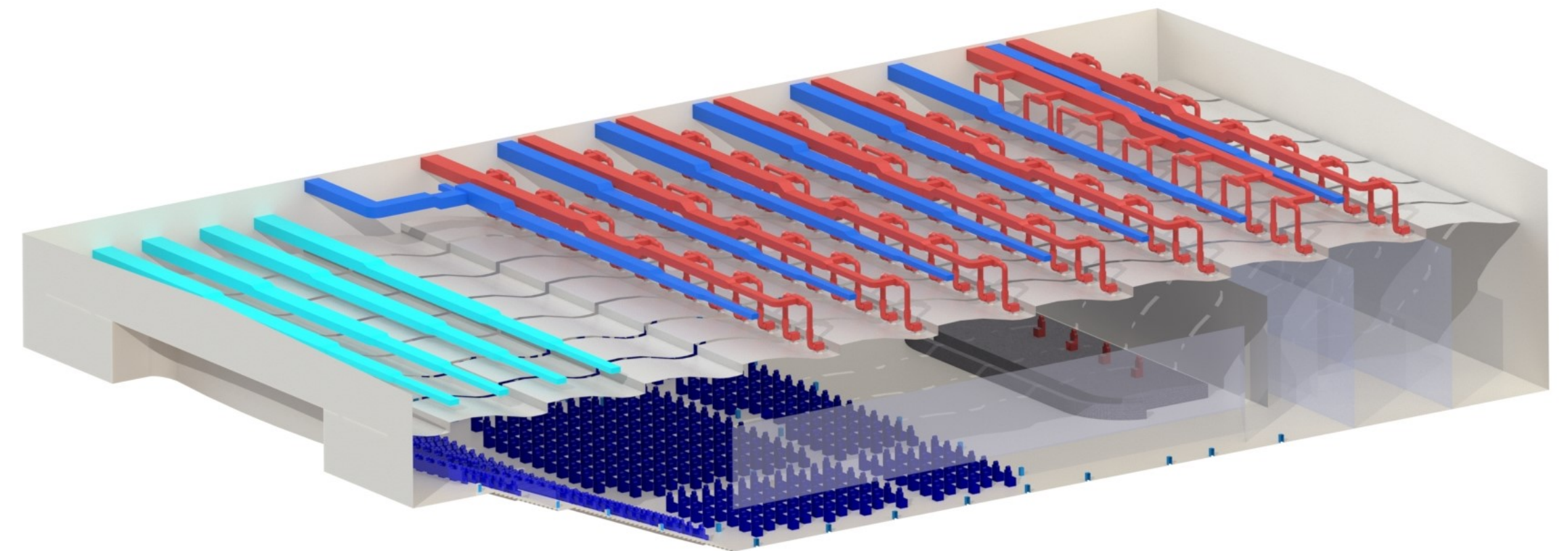
## Цель работы:

- Определить эффективность приточно-вытяжной вентиляции зала пленарных заседаний Экспофорума;
- Оценить направление движение воздушных масс внутри зала пленарных заседаний;
- Оценить эффективность работы и адекватность расстановки блоков системы ультрафиолетовой рециркуляции воздуха

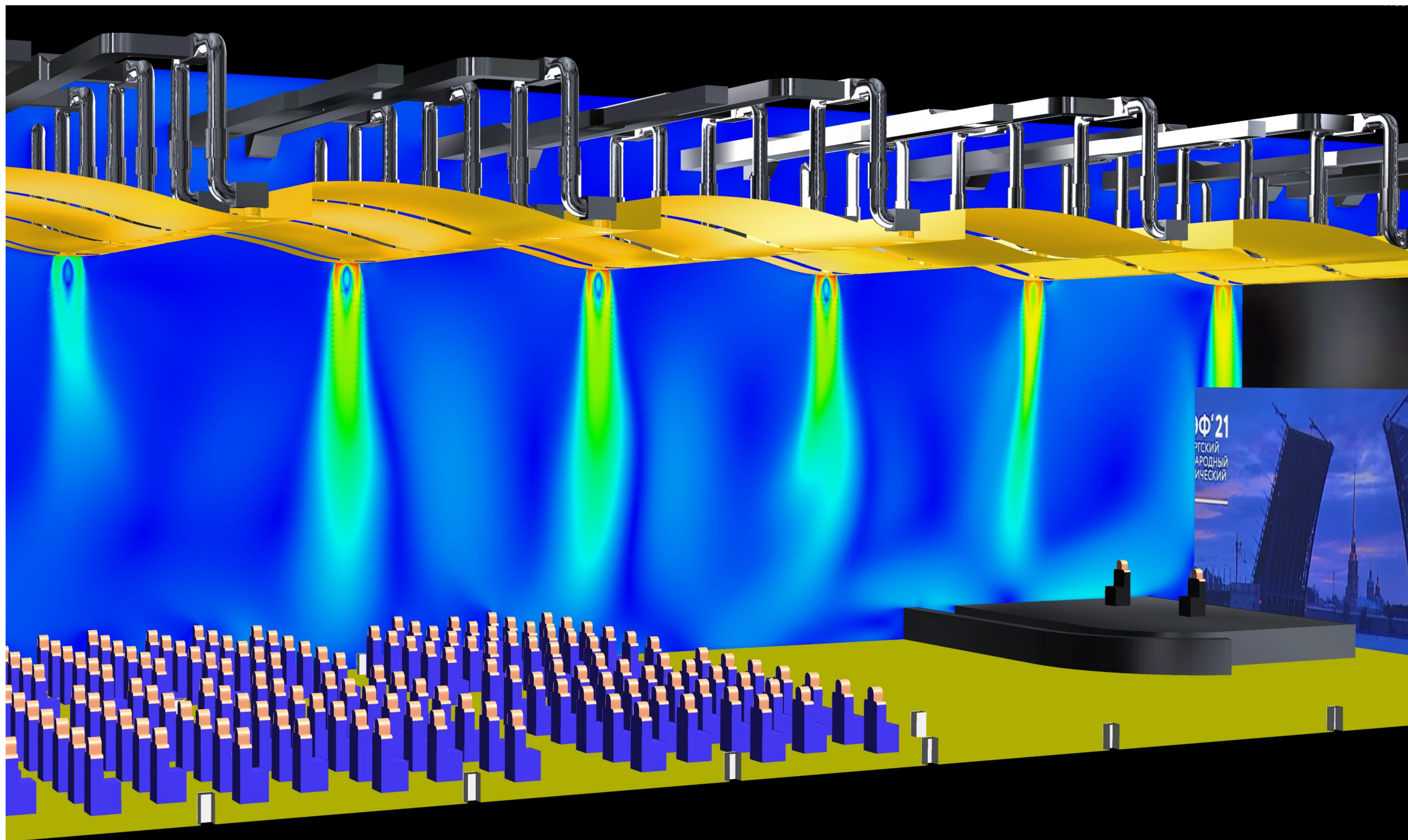


На основе полученных чертежей разработана **3D модель внутреннего пространства зала пленарных заседаний**, включающая:

- Пространственную внешнюю форму зала, включая геометрию амфитеатра
- Геометрию приточно-вытяжных каналов, расположенных в пространстве подвесным потолком;
- Профиль потолочных панелей и их расположение;
- Проекционные экраны: передний, 2 диагональных и 2 боковых ;
- Сцена
- Два варианта работы диффузоров
- Расположение и количество кресел со зрителями (404 в партере и 562 в амфитеатре);
- Расположение 52 ультрафиолетовых рециркуляторов очистки воздуха.



# Поле скоростей в центральной части зала

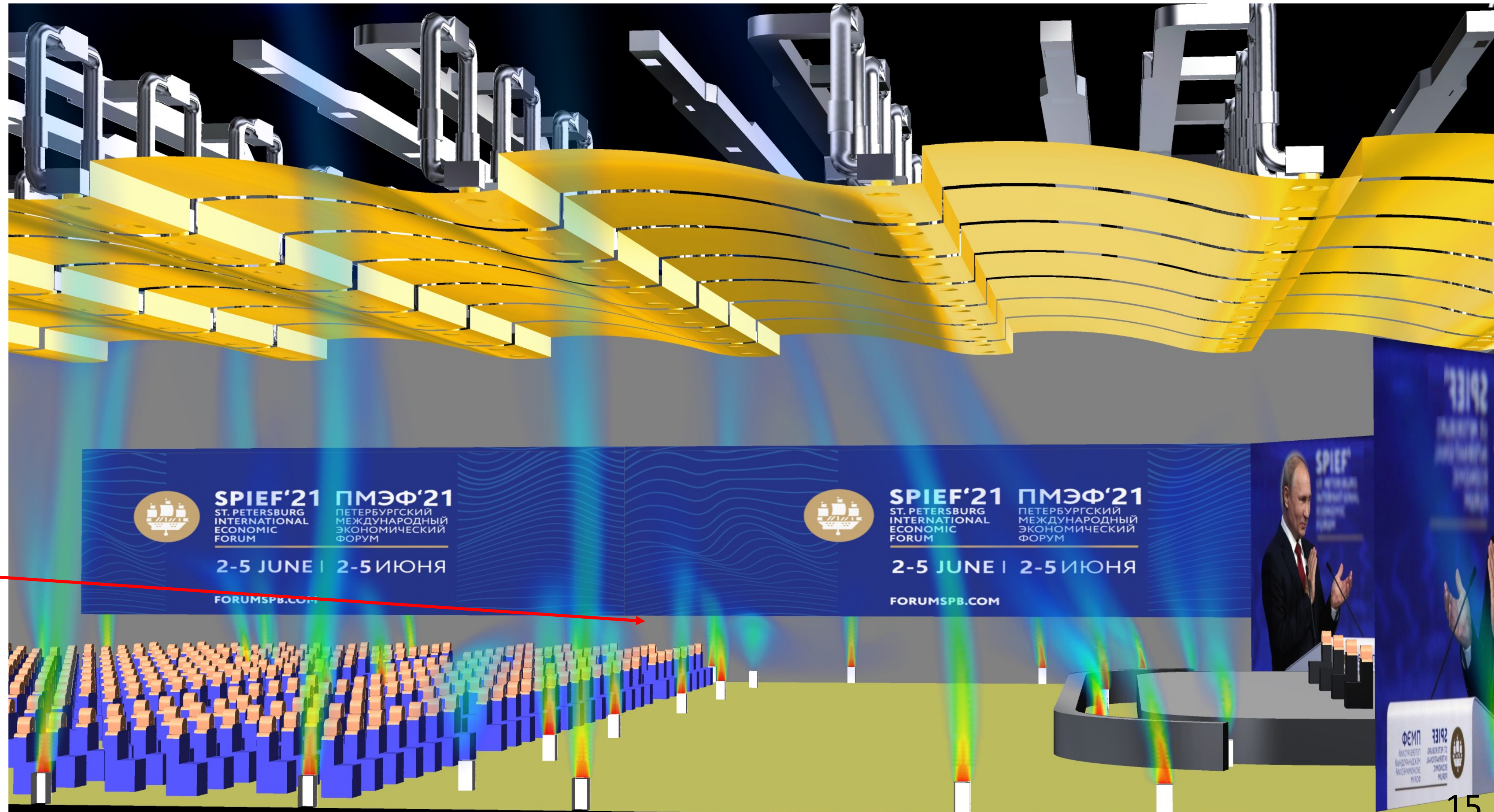


Из картины скоростей видно, что наблюдается общая тенденция движения воздушной среды от сцены в сторону амфитеатра

# Распространение воздушного потока от установленных рециркуляторов

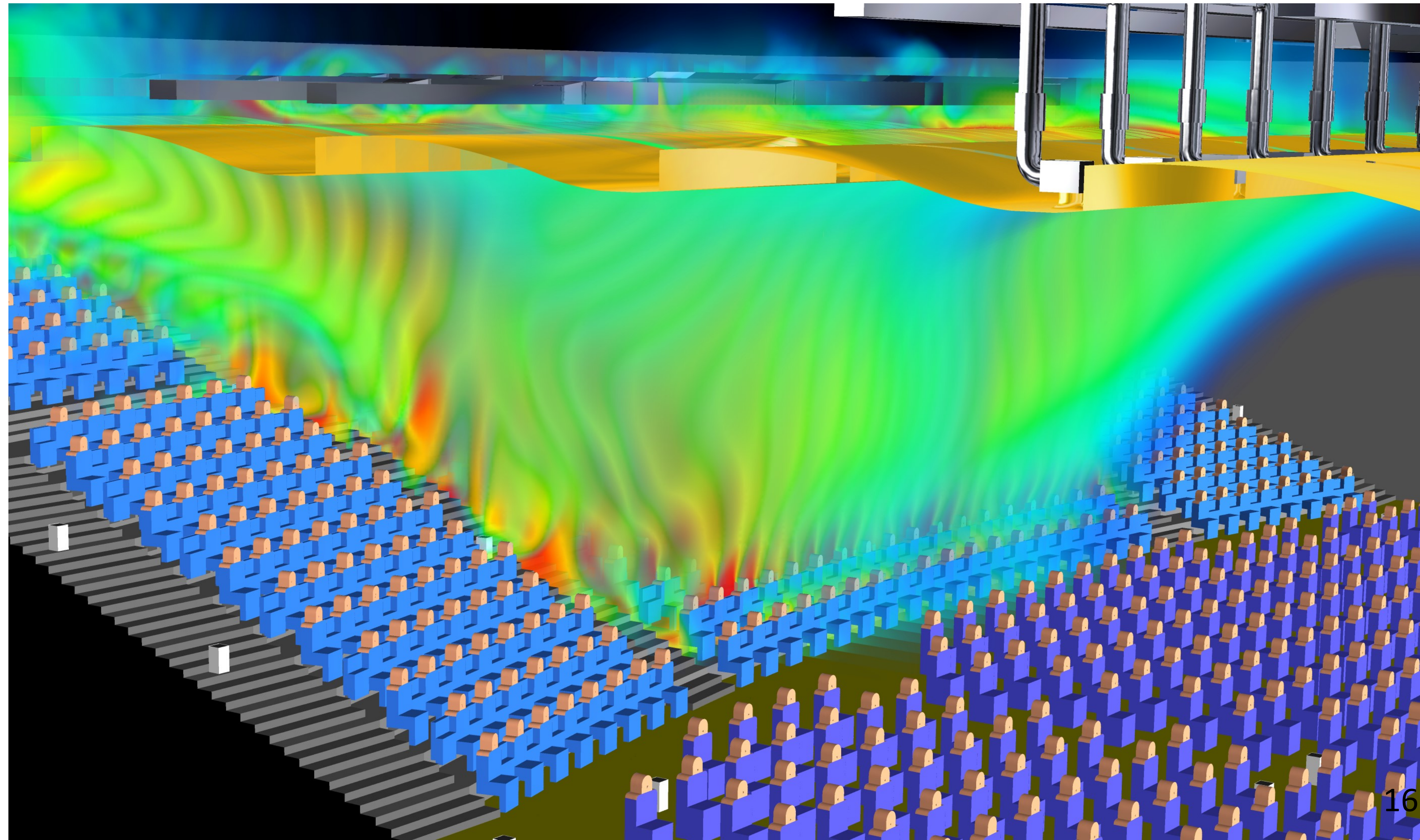


По всему залу расположены блоки системы ультрафиолетовой рециркуляции воздуха с 8-ю степенями фильтрации, в том числе УФ, производительностью 200 м<sup>3</sup> / час



Видно, что поток воздуха из рециркуляторов, установленных напротив отверстий подачи воздуха из системы вентиляции не вытягивается вверх, а тормозится на уровне 2-3 метров от пола, что должно эффективно сказываться на чистоте воздуха вблизи зон расположения людей

## Распространение воздушных потоков от системы подачи воздуха в центральной зоне амфитеатра

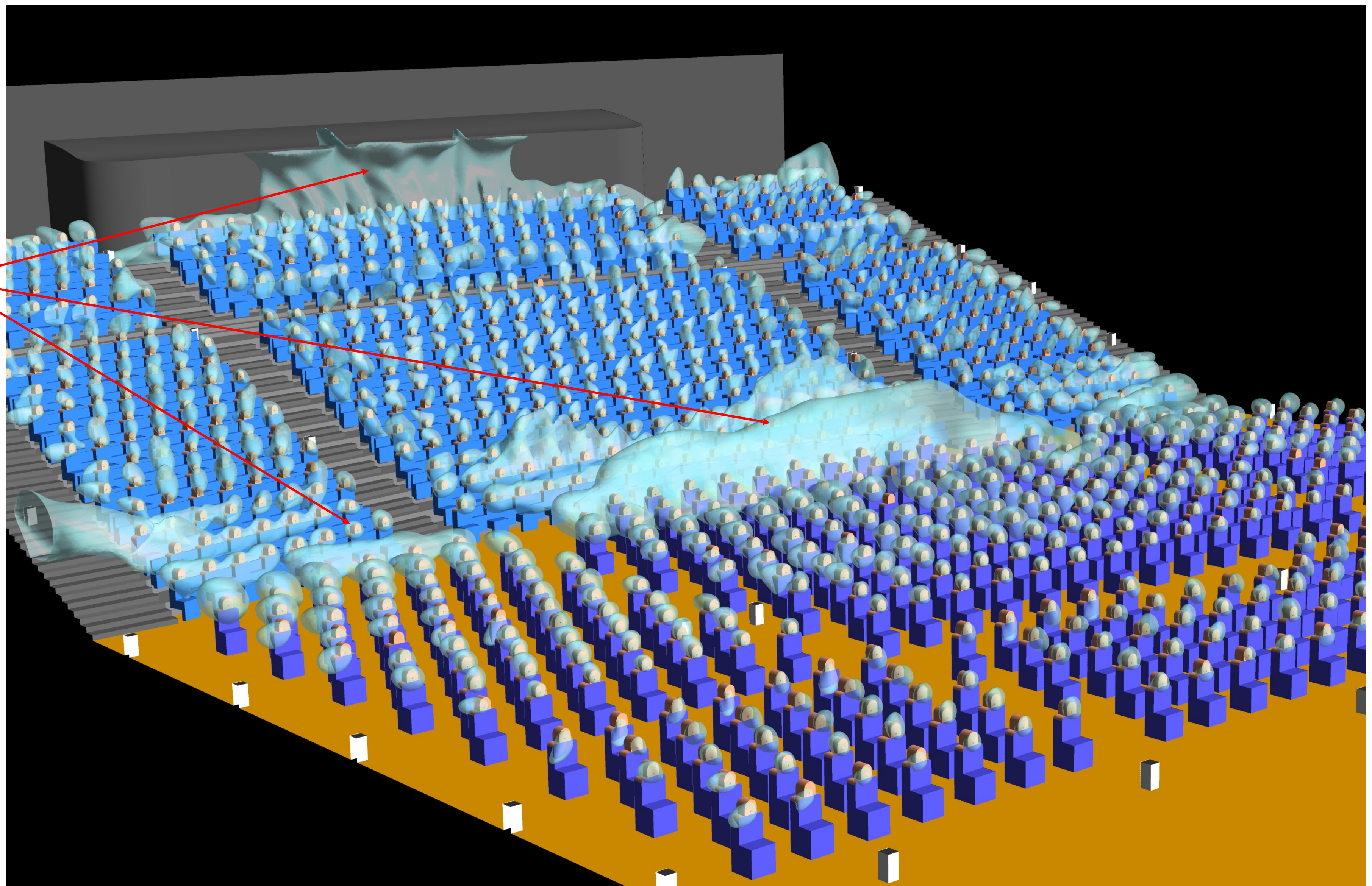


Система вентиляции  
центральной зоны  
амфитеатра полностью  
покрывает практически  
все ряды за  
исключением первого  
ряда

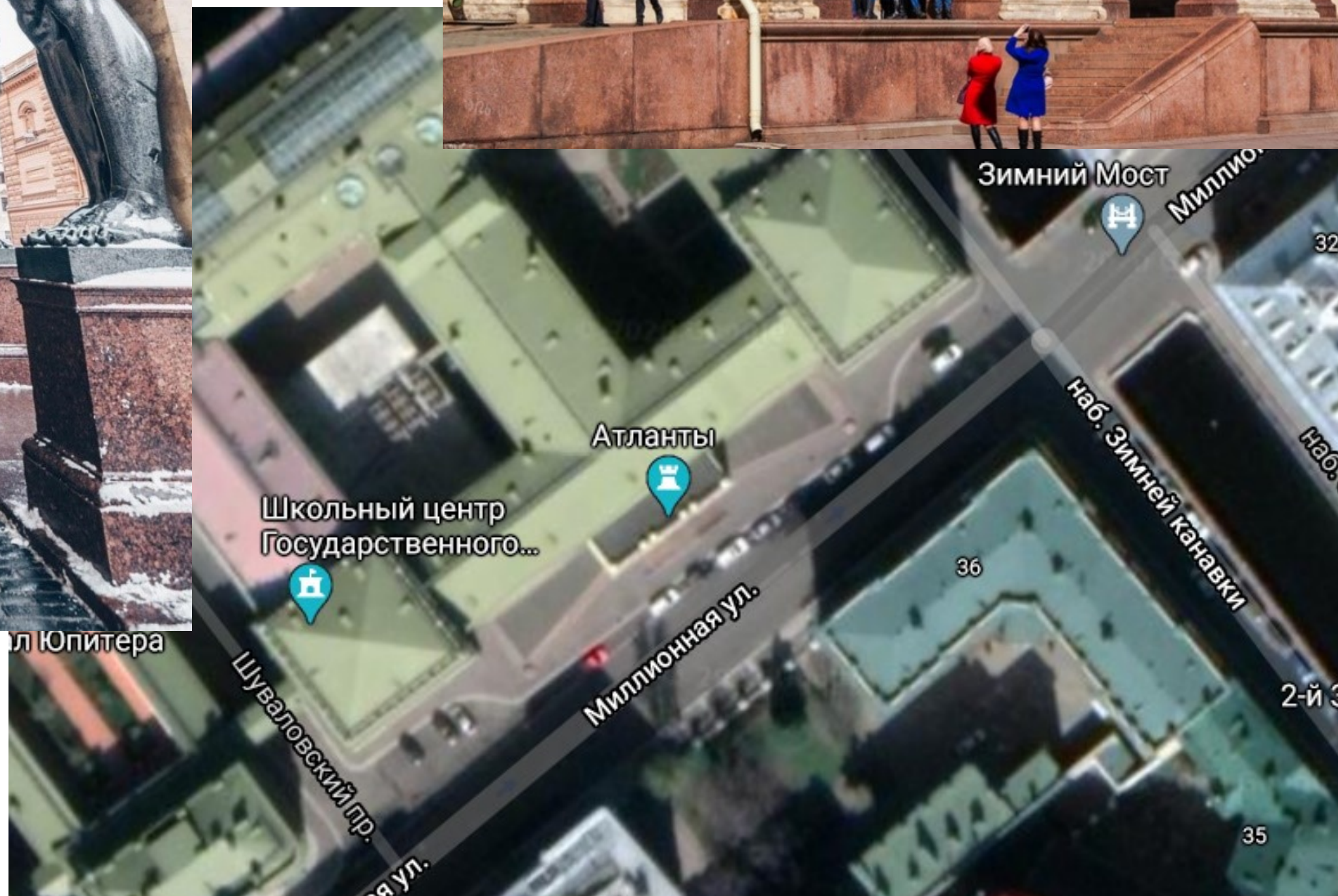


## Распространение продуктов выдоха человека (уровень 1 % концентрации от выдыхаемого человеком газом)

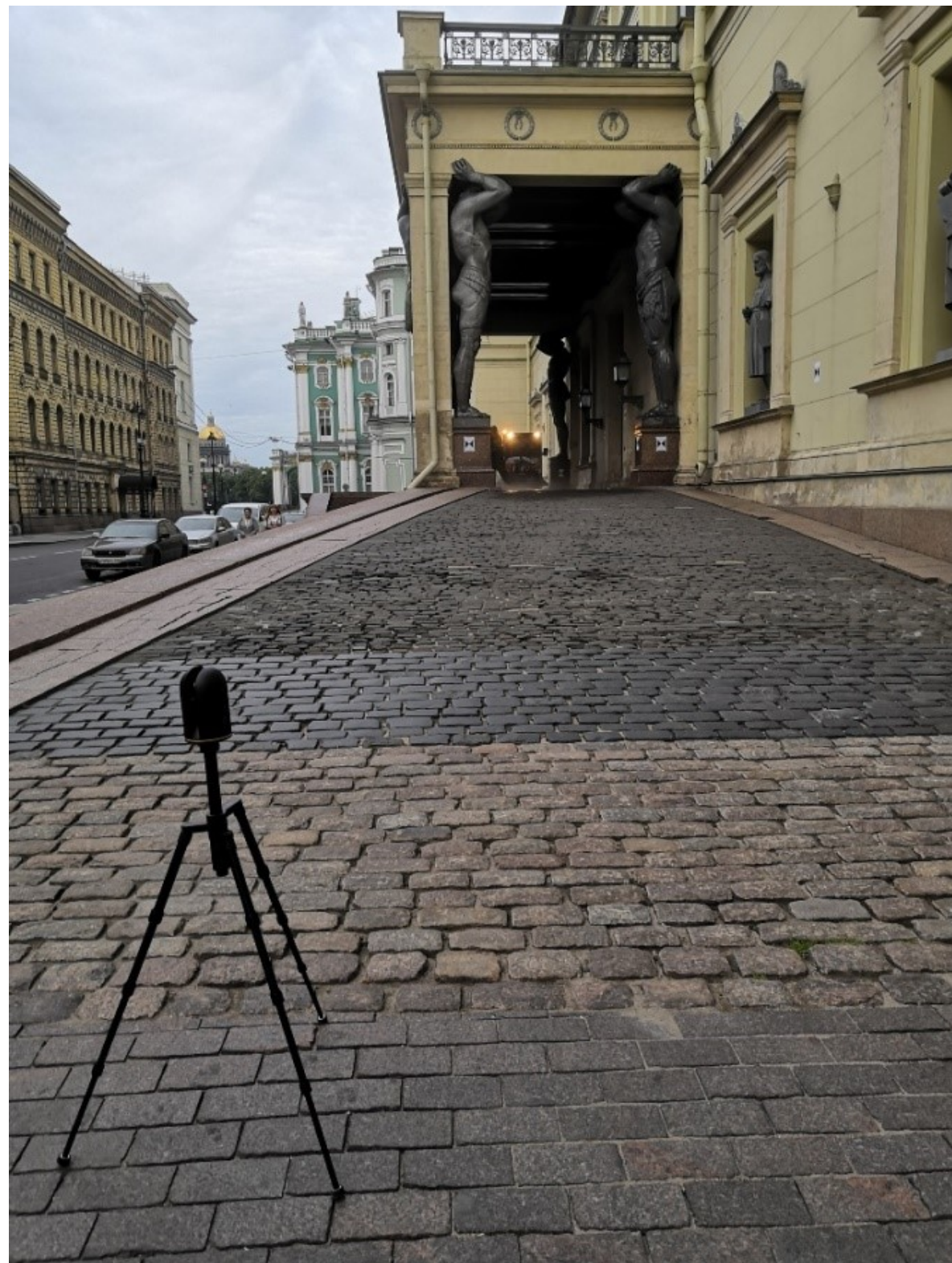
Зоны наибольшего  
скопления выдыхаемого  
людьми газа



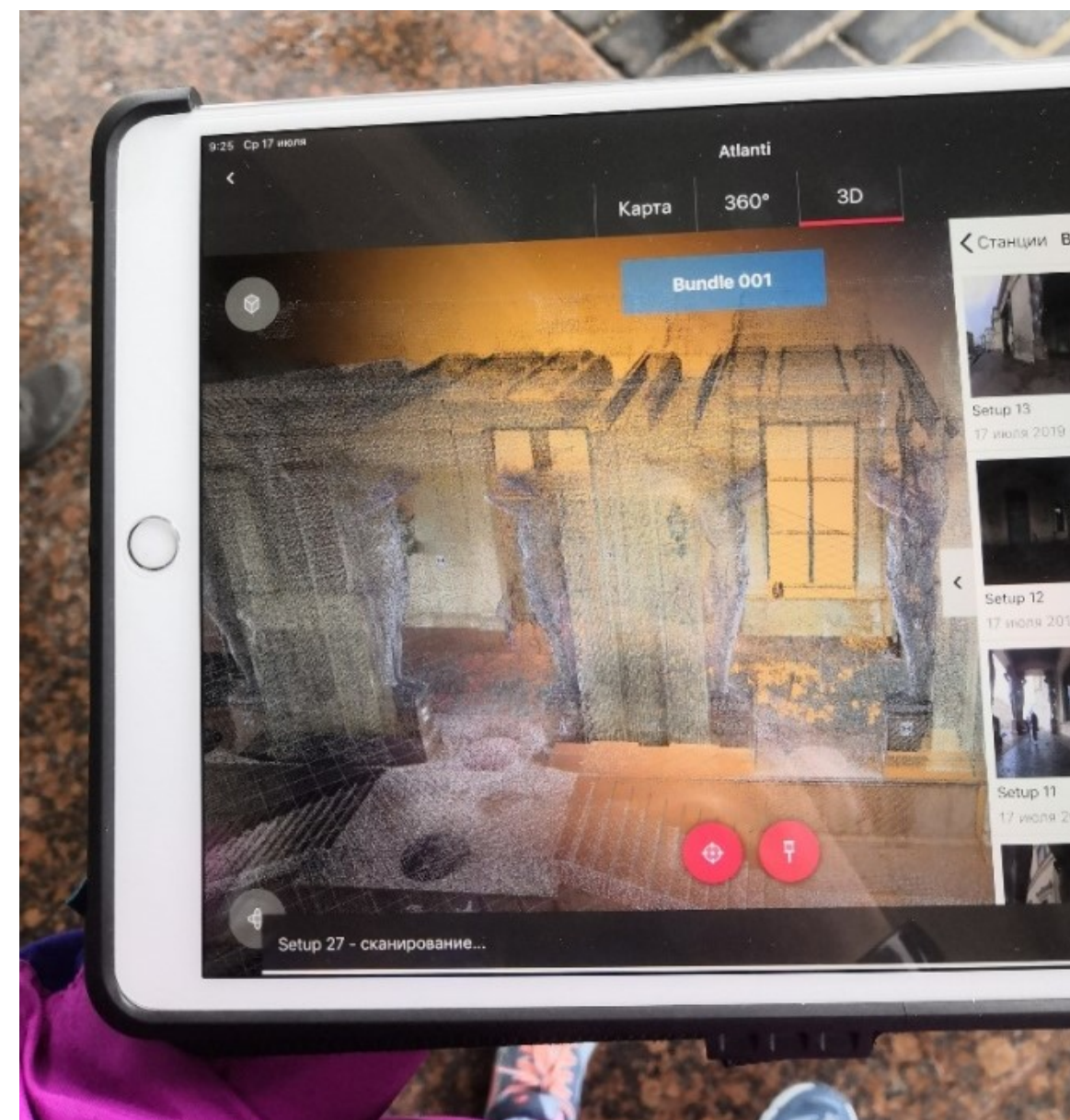
# Портик Нового Эрмитажа и скульптуры Атлантов



## Получение исходных данных. Регистрация облаков точек



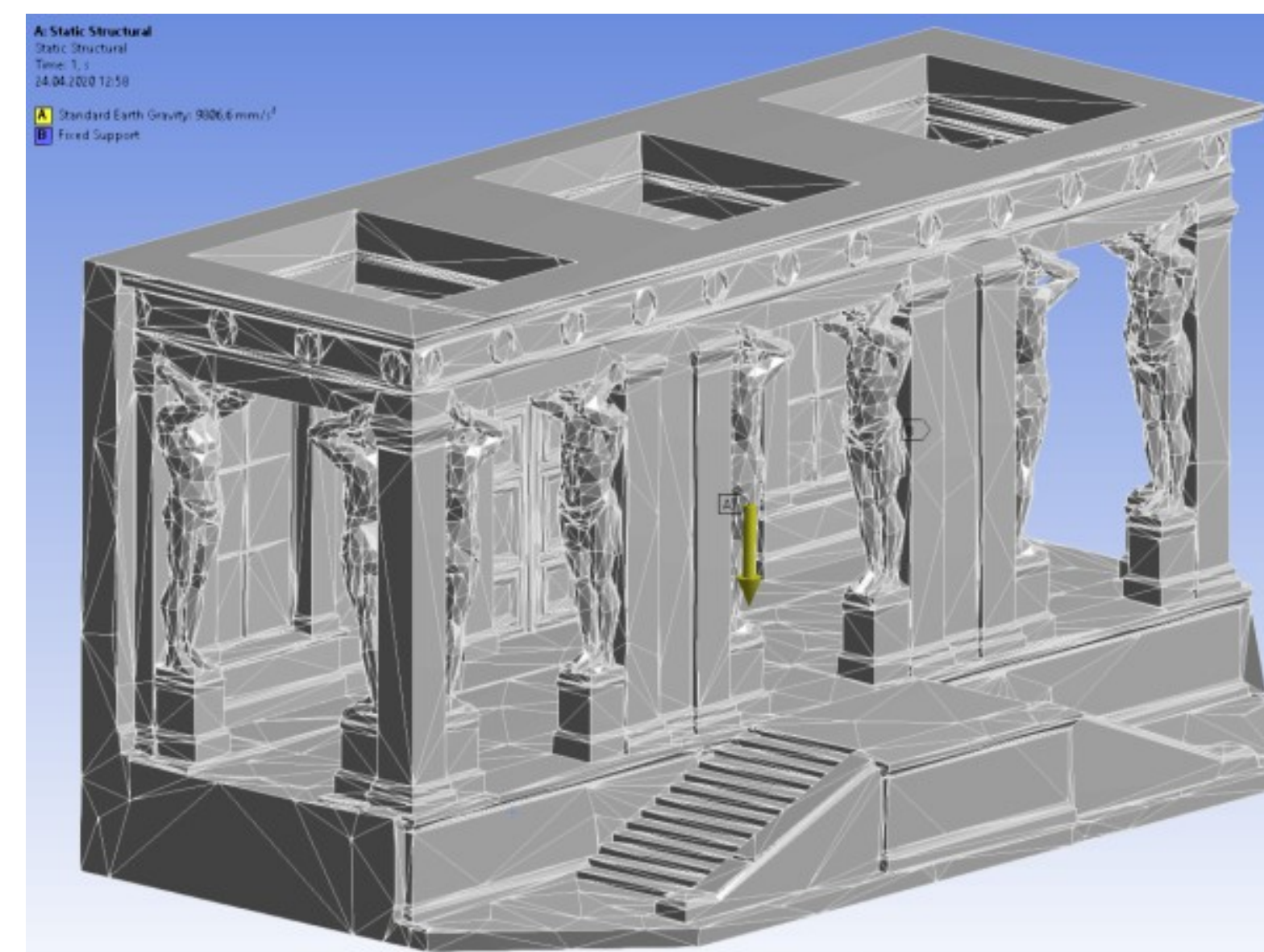
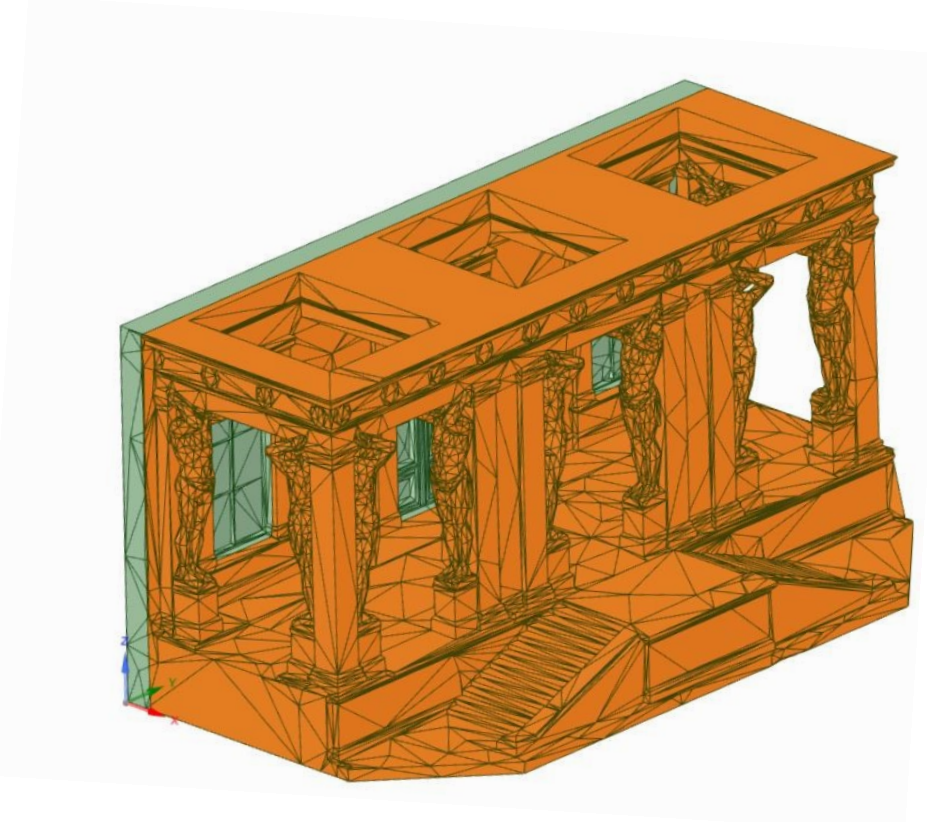
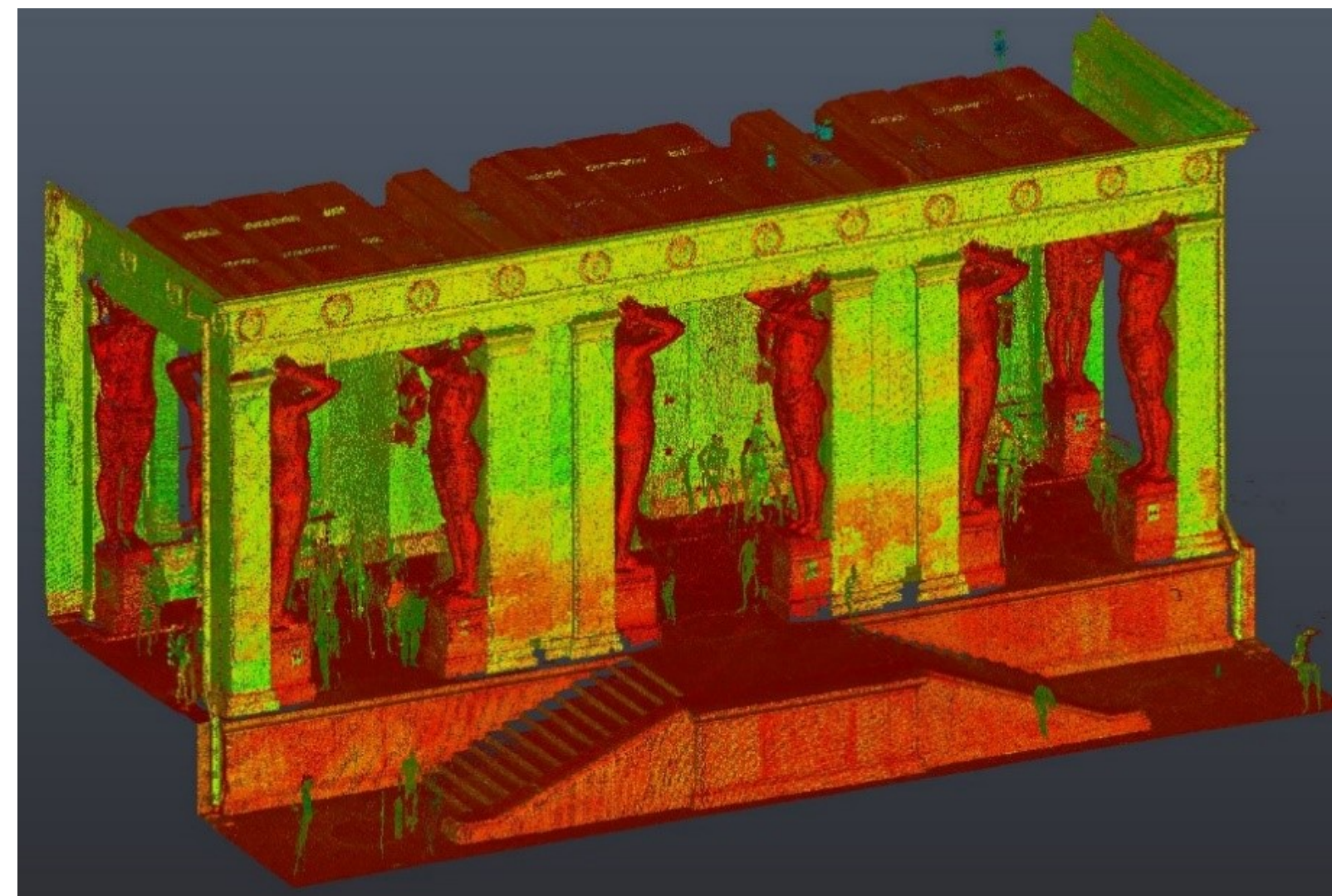
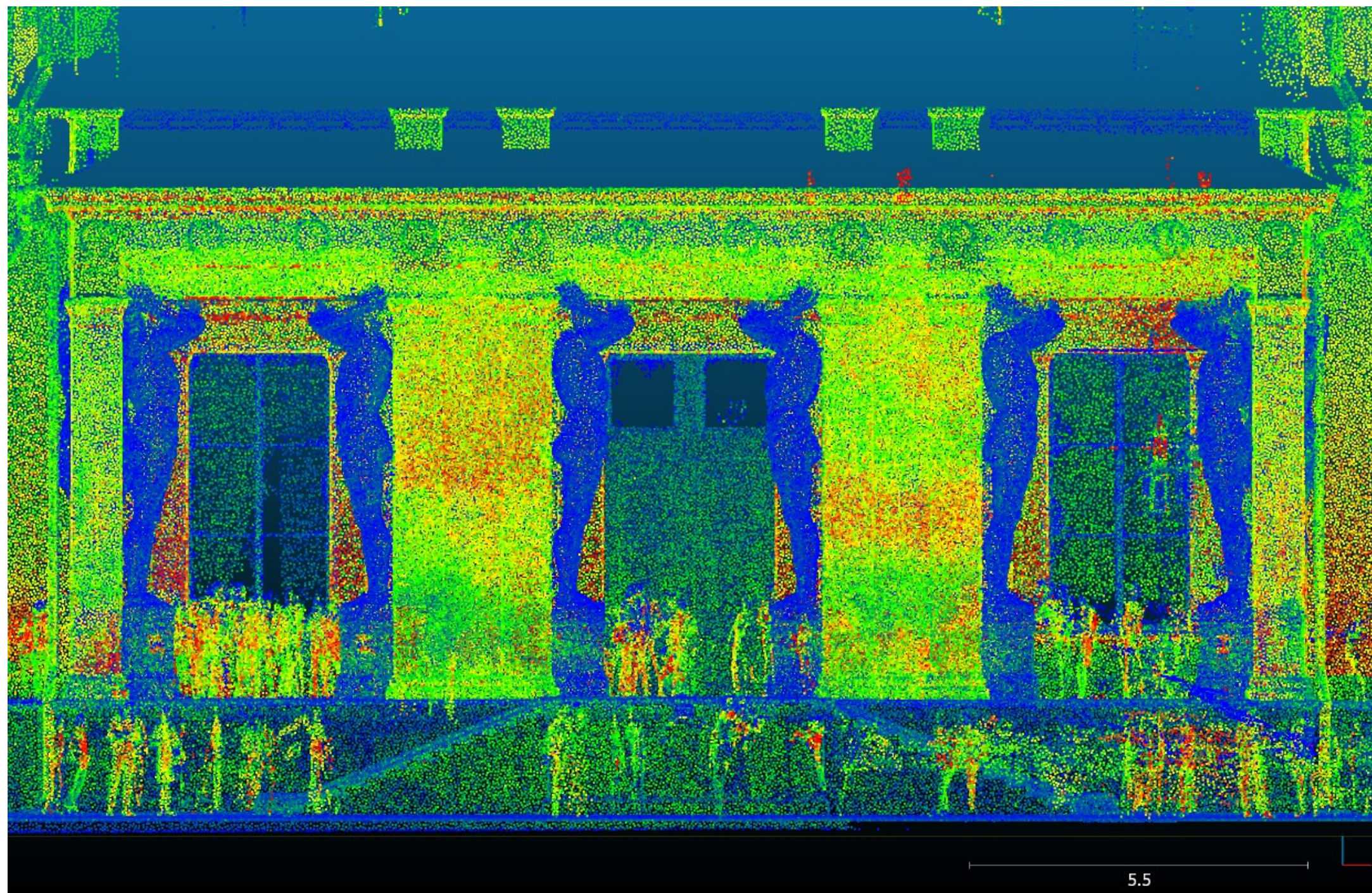
Лазерный сканер  
Leica BLK 360



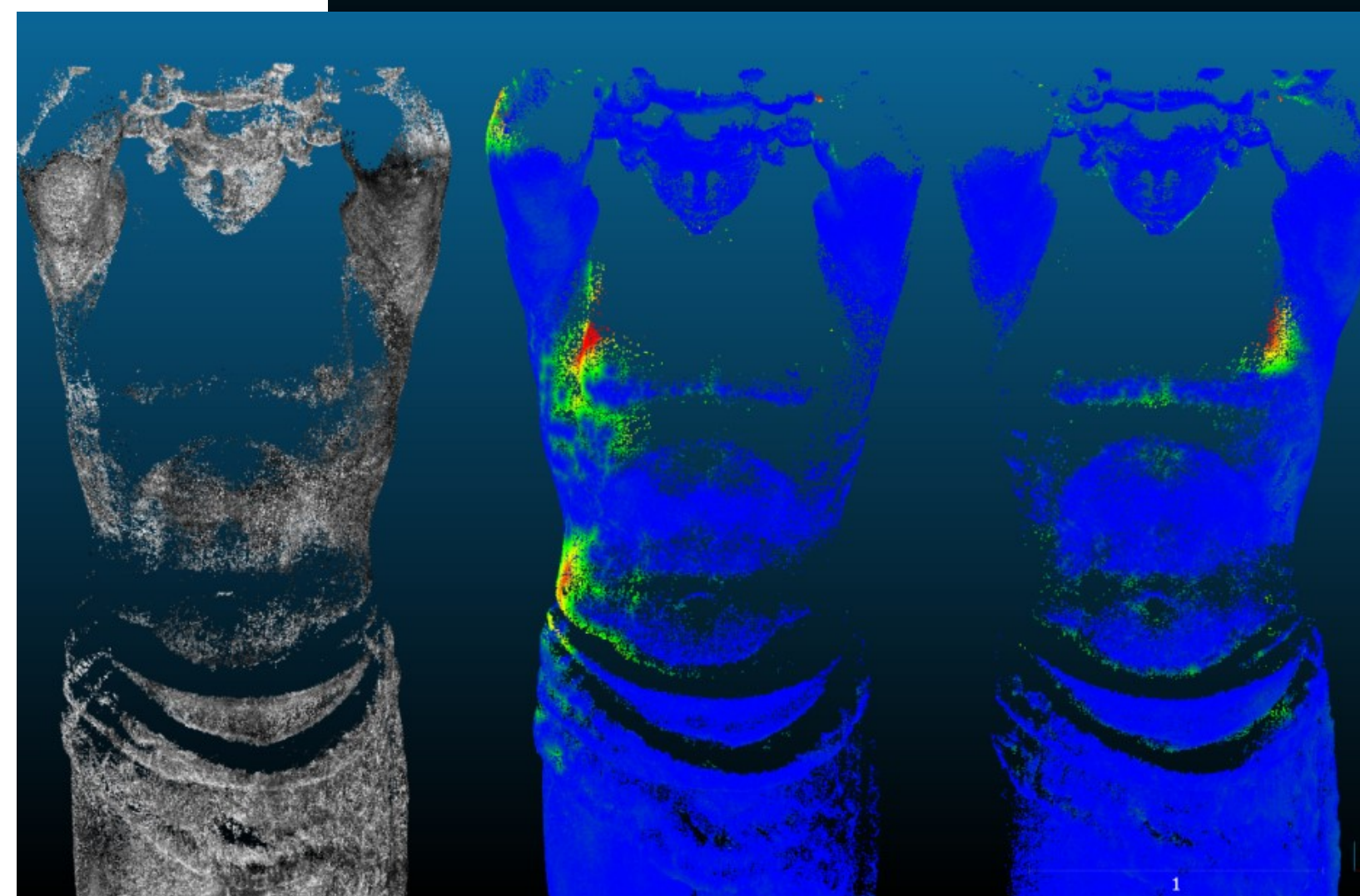
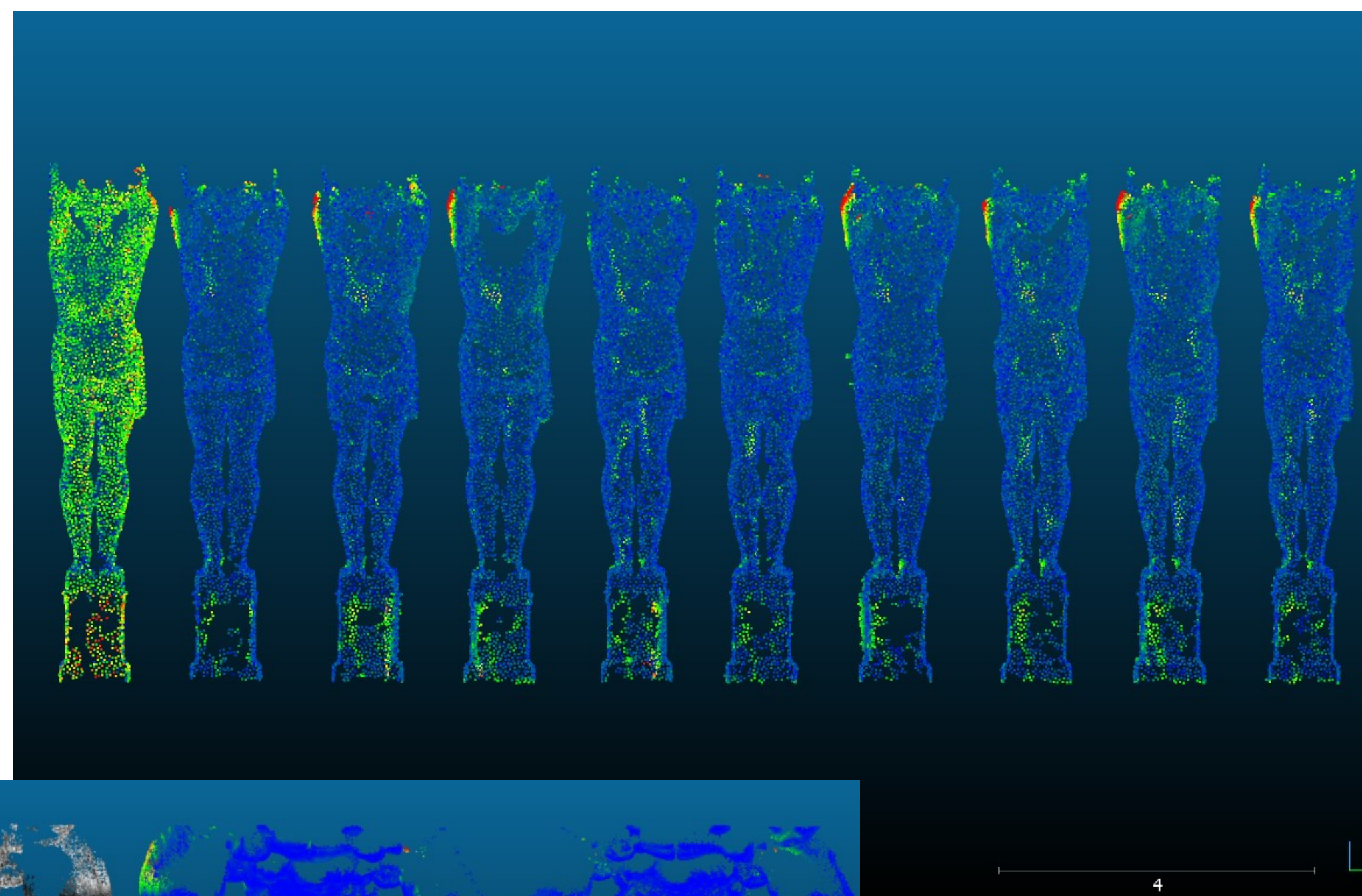
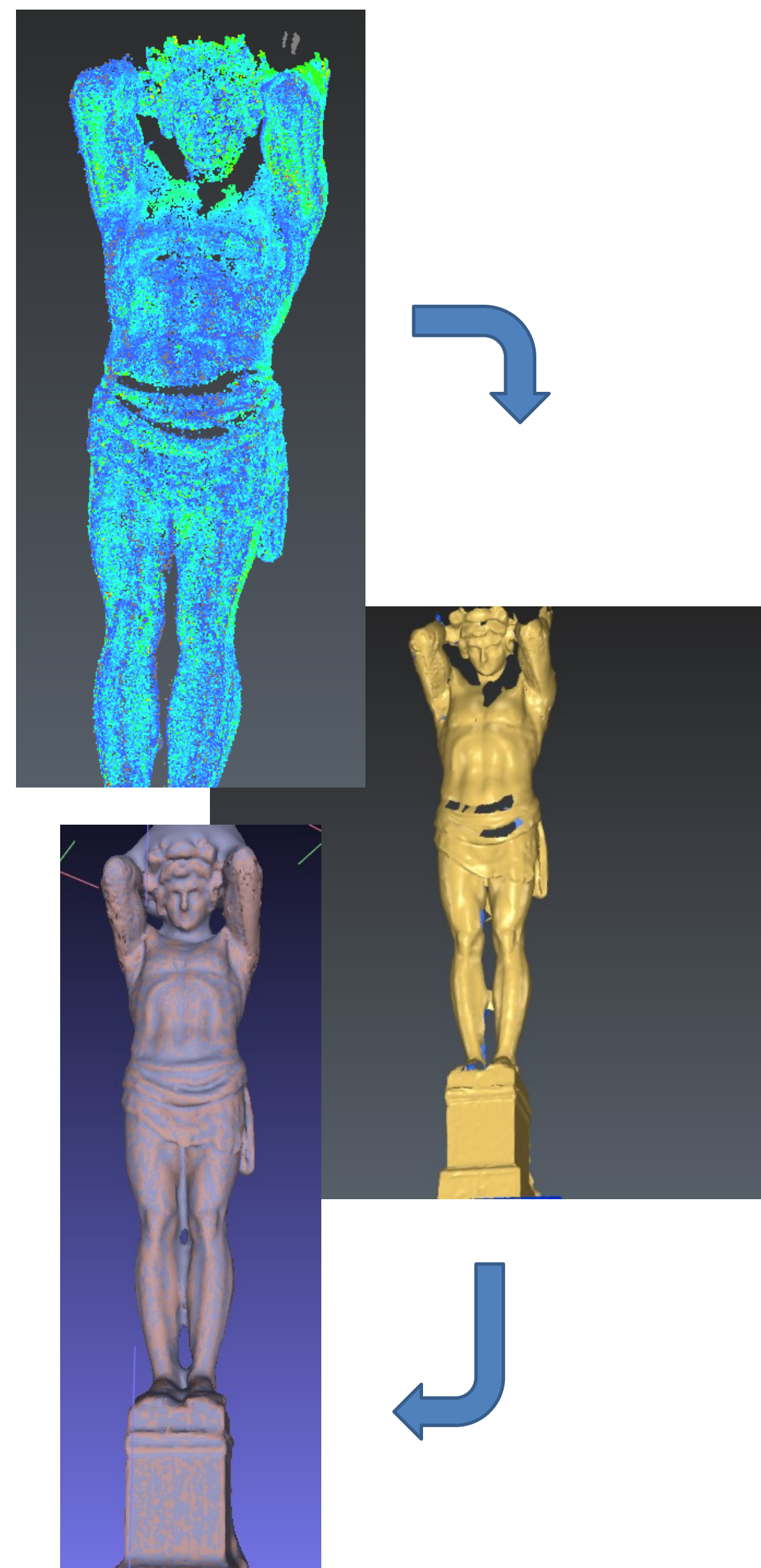
Autodesk Recap для  
iPad



# Сырые данные -> полигональная модель -> цифровой паспорт объекта

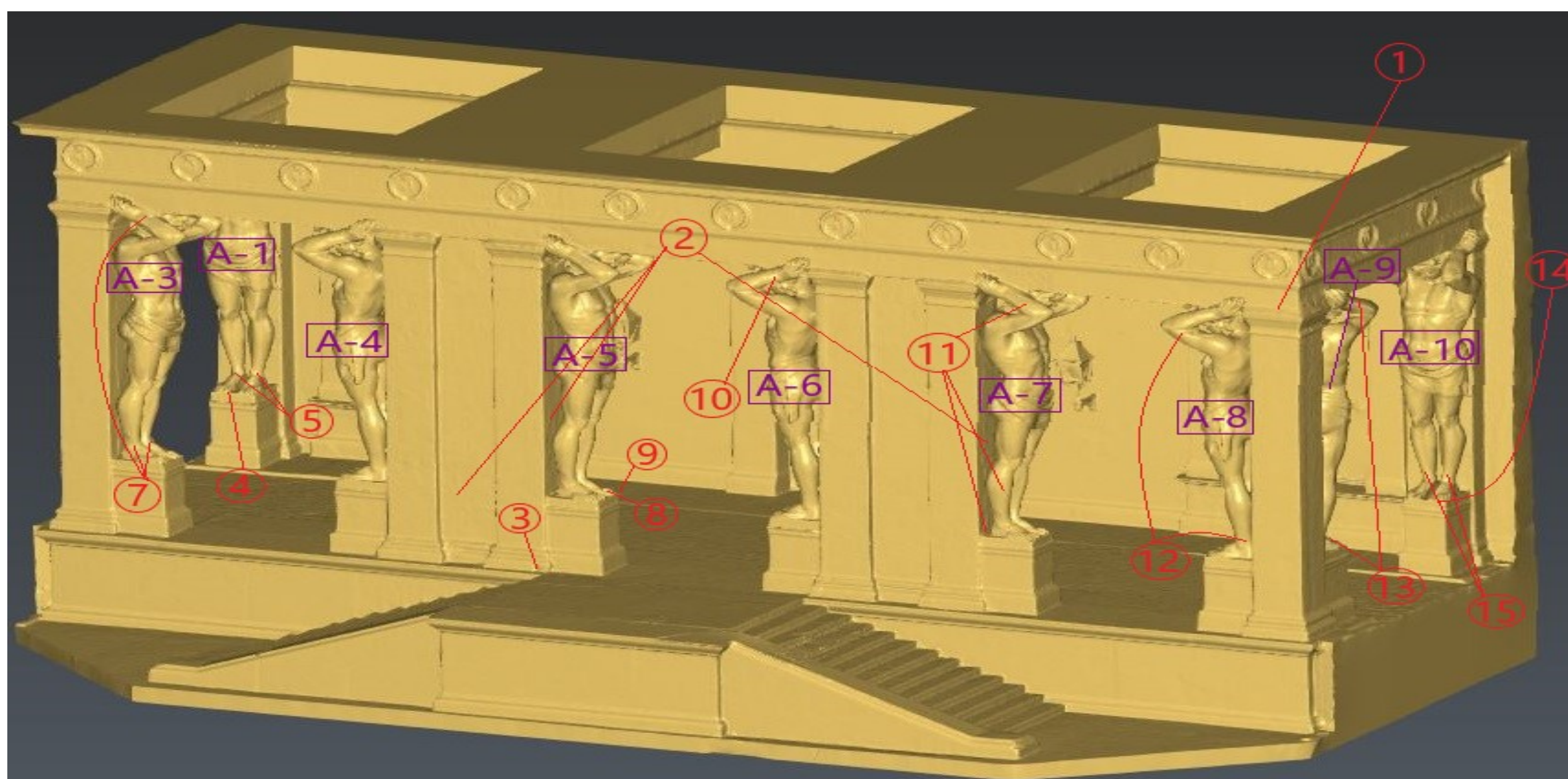


## Фигуры атлантов

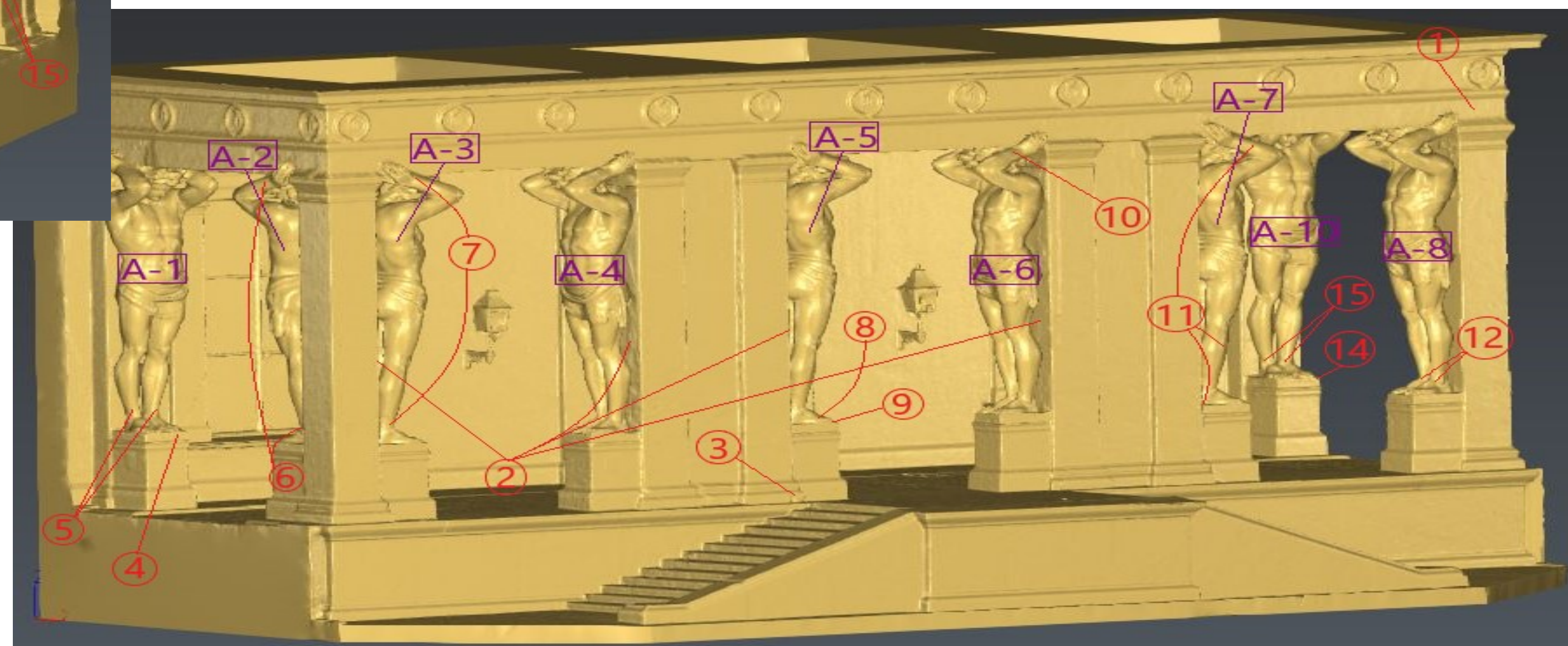


Сравнение фигур  
Красное – отличие

# Дефекты



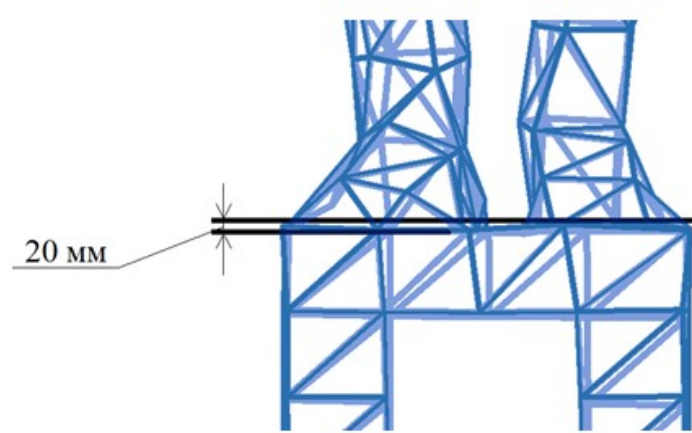
## 3D – карта дефектов



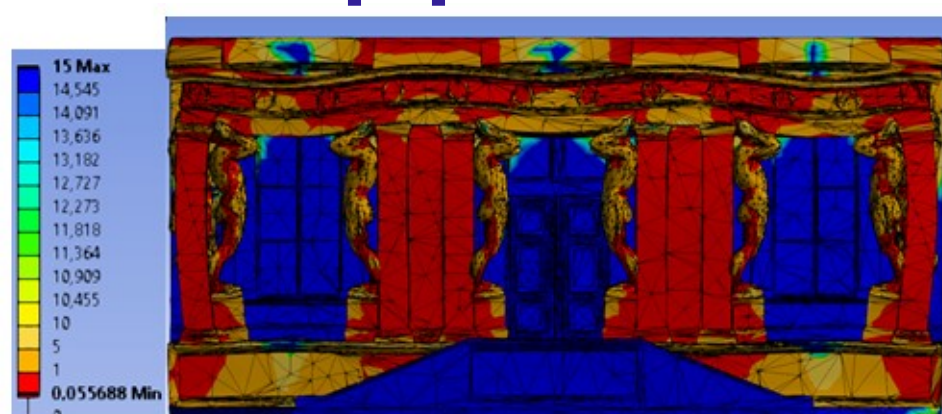
### Историческая справка обследований и реставраций:

- 1880-1921 гг
- 1941 г., попадание снаряда
- 1994 г.
- 1997 г.
- 2000 – 2010 гг.
- 2010-2016 гг.

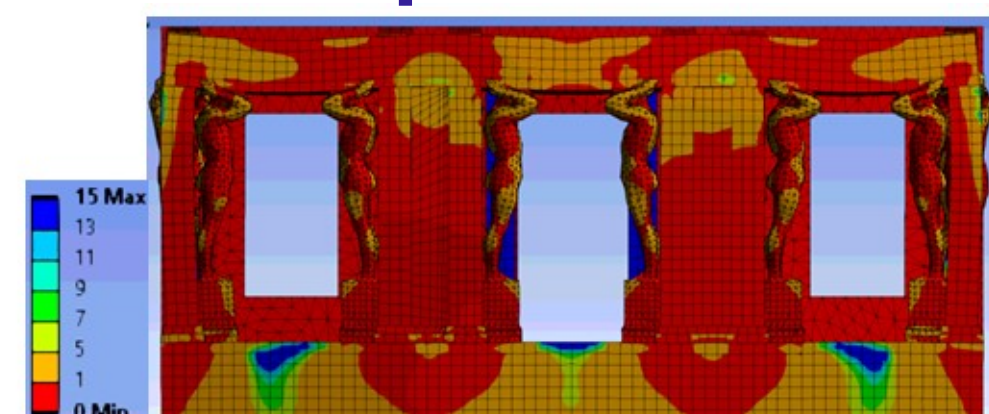
# Расчеты НДС на основе НВИМ с учетом дефектов



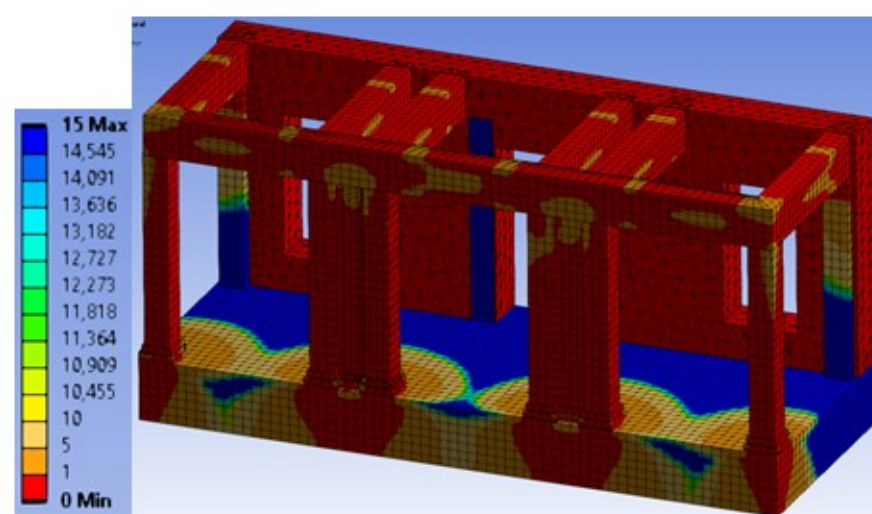
## Коэффициент запаса по прочности



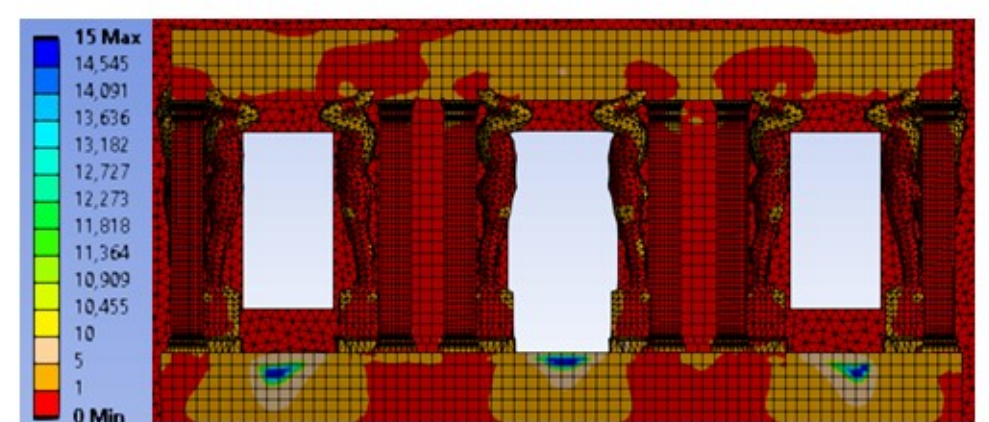
НВИМ-модель с учетом дефектов



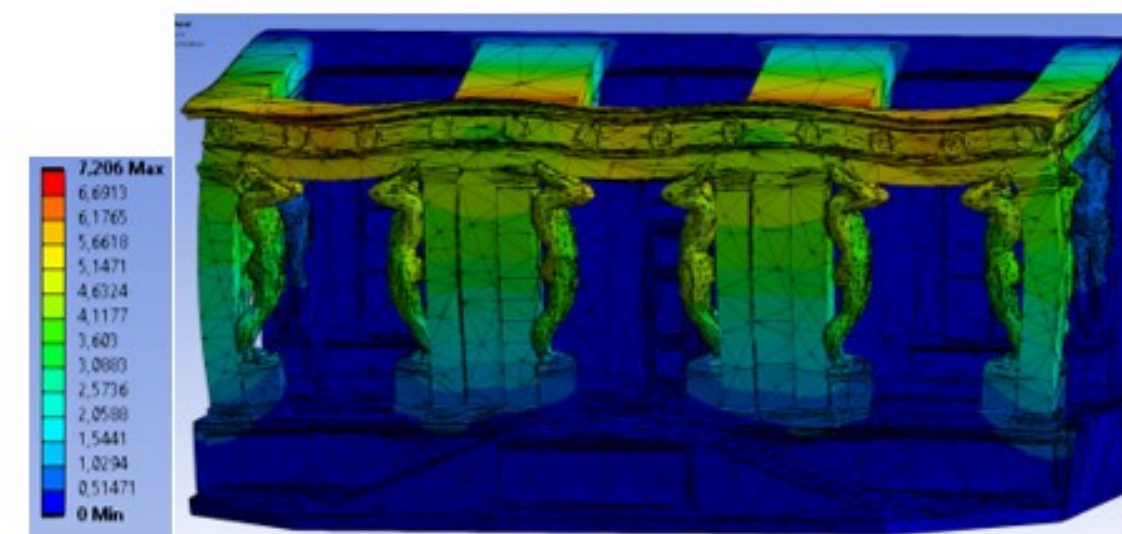
Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов



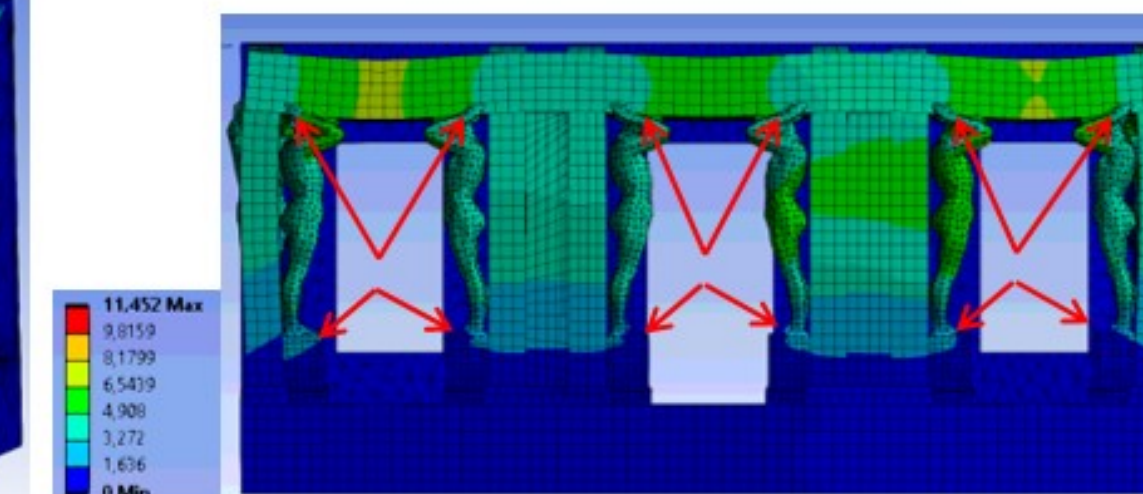
Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов без статуй Атлантов



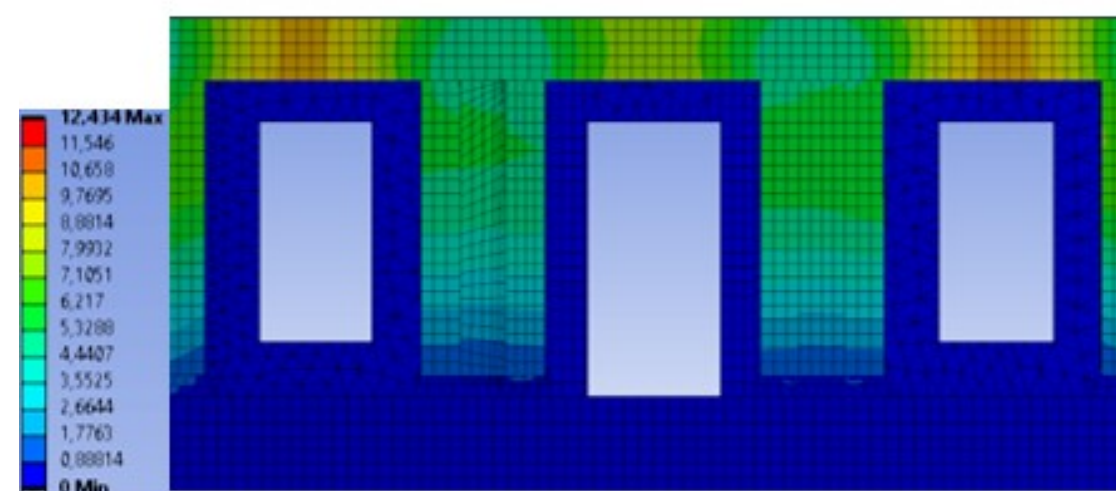
НВИМ-модель без учета дефектов



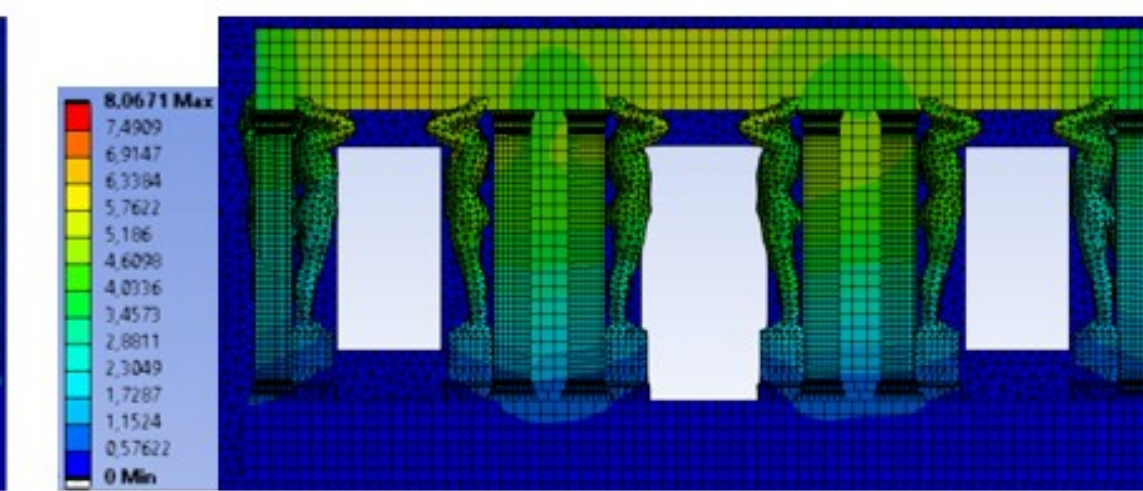
НВИМ-модель с учетом дефектов



Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов



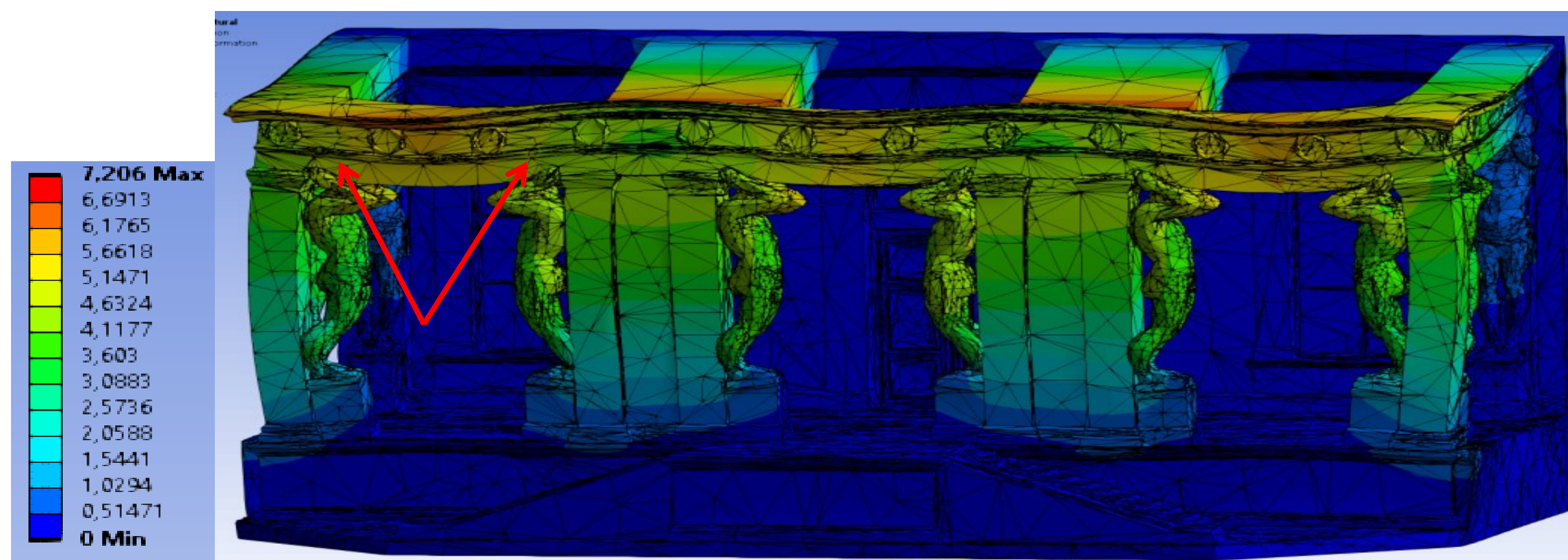
Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов без статуй Атлантов



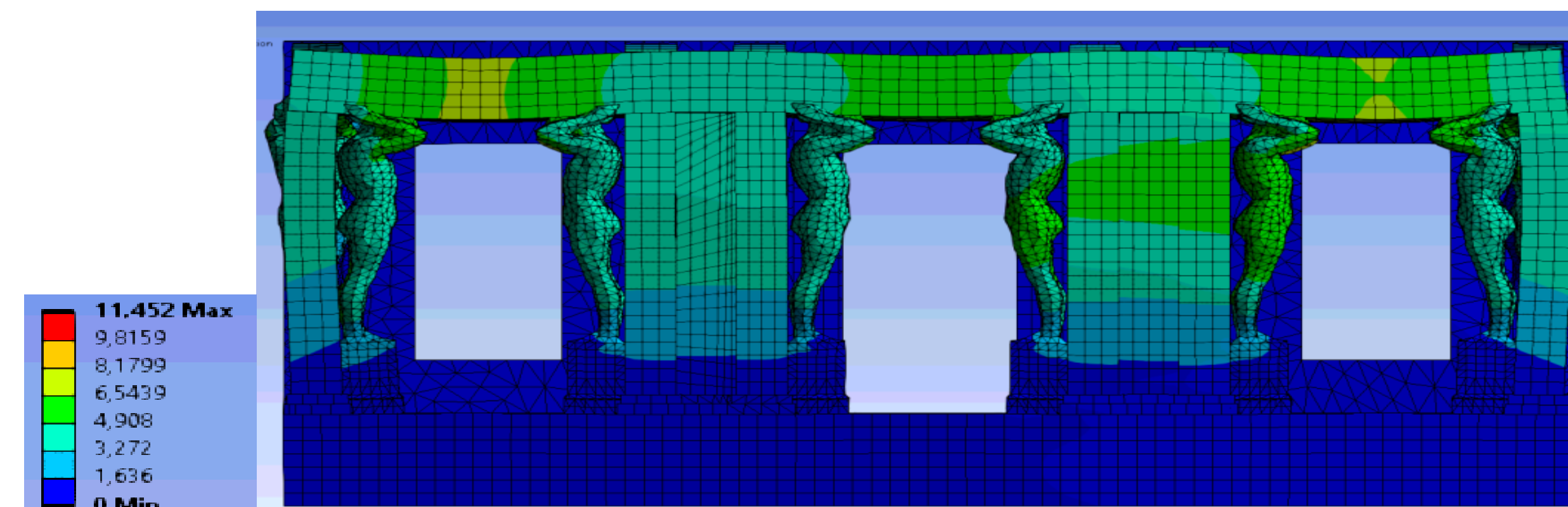
НВИМ-модель без учета дефектов



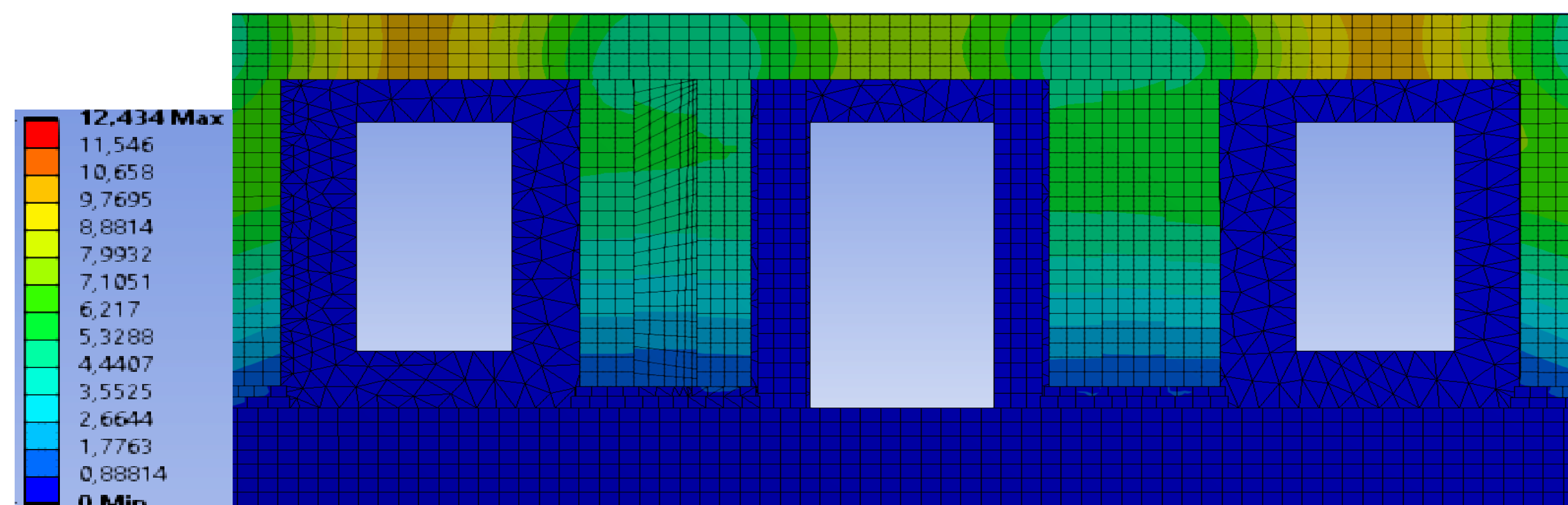
# Суммарные перемещения, мм



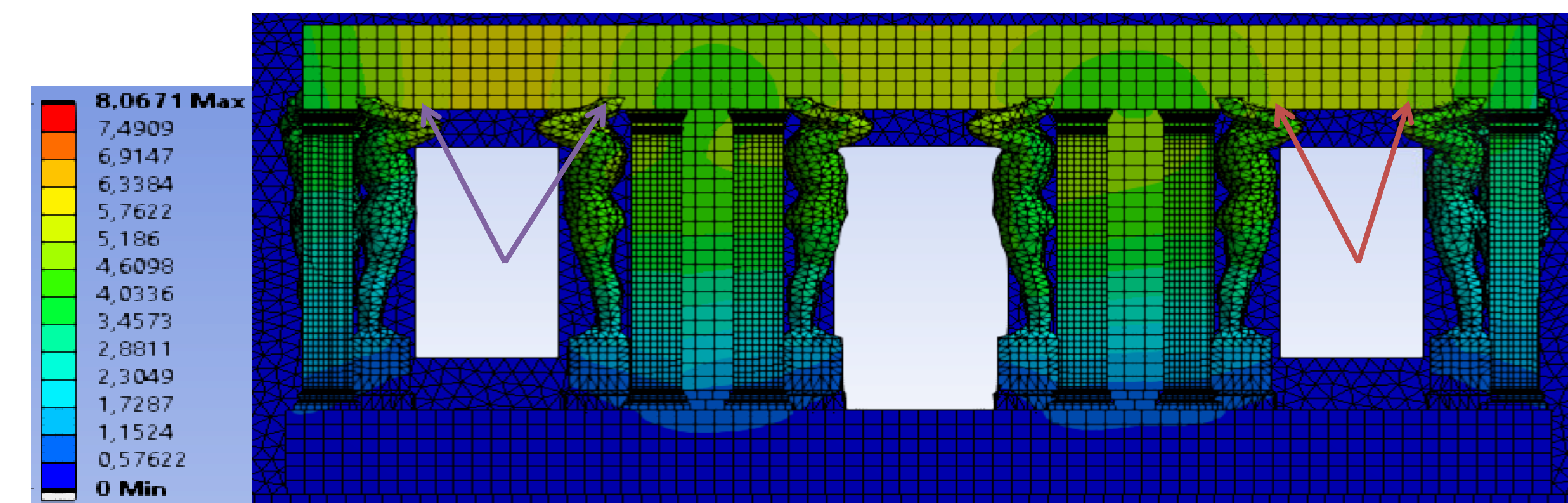
НВИМ-модель с учетом дефектов



Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов



Упрощенная НВИМ-модель с учетом дефектов  
без статуй Атлантов



НВИМ-модель без учета дефектов



# Публикации

- Сайт Центра НТИ СПбПУ: <https://nticenter.spbstu.ru/>
- Прохоров А., Лысачев М. *Цифровой двойник. Анализ, тренды, мировой опыт.* / Научный редактор профессор Боровков А.— М.: ООО «АльянсПринт», 2020. – 401 стр.
- Боровков А. И. и др. *Цифровые двойники в высокотехнологичной промышленности.* – 2019.
- Badenko, V.L., et al., *Integration of Digital Twin and BIM Technologies within Factories of the Future.* Magazine of Civil Engineering. 2021. 101(1). Article No. 10114
- Баденко В.Л., Ядыкин В.К. *Цифровая трансформация промышленности и предприятий: роль и место BIM технологий // Цифровые технологии в экономике и промышленности (ЭКОПРОМ-2019).* – 2019. – С. 506-516.
- Yadikin V. et al. *Global Challenges of Digital Transformation of Markets: Collaboration and Digital Assets // Sustainability (Switzerland), 2021, 13(19), 10619*
- Bolshakov N. et al. *As-built BIM in real estate management: the change of paradigm in digital transformation of economy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering.* – 2020. – Т. 940. – №. 1. – С. 012017.
- Badenko V.L. et al. *Information modeling for cultural preservation: Portico of the New Hermitage and Atlas sculptures. Part 2. Methods and algorithms // Computing, Telecommunication and Control.* – 2020. – Т. 67. – №. 4. – С. 7-20.



КОНФИДЕНЦИАЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ. Исключительные права на текстовые и графические материалы принадлежат ФГАОУ ВО «СПбПУ». Любое использование текстовых и графических материалов без разрешения ФГАОУ ВО «СПбПУ» запрещено. По вопросу получения разрешения на использование текстовых и графических материалов необходимо обращаться в Центр компетенций НТИ СПбПУ «Новые производственные технологии» ([nticenter@spbstu.ru](mailto:nticenter@spbstu.ru)).



**ПОЛИТЕХ**  
Санкт-Петербургский  
политехнический университет  
Петра Великого



**ПОЛИТЕХ**  
Центр Национальной  
технологической инициативы  
Новые производственные технологии



**ПОЛИТЕХ**  
Институт передовых  
производственных технологий



ЦЕНТР  
КОМПЬЮТЕРНОГО  
ИНЖИНИРИНГА СПбПУ

# Спасибо за внимание!