

ПРИДНЕСТРОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМ. Т.Г. ШЕВЧЕНКО

БЕНДЕРСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ФИЛИАЛ

Специальность: 2.08.04.01. «Строительство»

# **Информационное моделирование интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве**

***Работу выполнил  
студент группы БП20ДР68СТР1:***

***Кирика  
Андрей Александрович***

***Научный руководитель  
кандидат технических наук:***

***Безушко  
Денис Иванович***

# Обоснование темы исследования

## **Актуальность исследования**

интегрированная автоматизация проектирования предполагает использование принципов сквозного проектирования, когда ввод исходных данных осуществляется в начале процесса, а затем программные средства автоматизации проектирования взаимодействуют между собой, передавая и обрабатывая информацию. Качественно новый уровень автоматизации проектирования дает технология информационного моделирования, которая предполагает создание единой информационной модели строительного объекта и ее использование и развитие на различных стадиях проектирования, а также на этапах строительства и эксплуатации.

## **Цель исследования**

разработка методик информационного моделирования интегрированной автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве.

## **Объект исследования**

процессы и практические результаты информационного моделирования здания для разработки и оптимизации календарного плана строительства.

## **Задачи исследования**

- анализ научных работ в области автоматизации проектирования и оптимизации, при разработке календарного плана строительства 4D BIM.
- разработка методики интеграции средств автоматизации проектирования и календарного планирования в строительстве;
- разработка методики оптимизации календарного плана проекта строительства на основе алгоритмов с учетом информационного моделирования и визуализации рабочих процессов для анализа их конфликтов;
- практическая апробация предложенных решений;
- формулировка перспективных направлений исследования.

# Обоснование темы исследования

## Предмет исследования

интегрированная автоматизация разработки и оптимизации календарного плана строительства на основе информационного моделирования зданий (BIM) и алгоритмов.

## Методология исследования

теории и методы построения САПР, BIM, управления проектами, интеграции программных продуктов и информационных систем, алгоритмов.

## Практический результат

- разработка методики интеграции данных информационной модели здания, базы данных аналогичных проектов и данных рабочих пространств для автоматизированного формирования параметров календарного плана производства работ;
- разработка методики оптимизации календарного плана производства работ с точки зрения стоимости и срока выполнения проекта, основанной на алгоритмах;
- построение информационной модели строительных работ с отображением рабочих пространств и определением их конфликтов в 4D BIM.

## Научная новизна исследования

- методики интеграции данных информационной модели здания, базы данных аналогичных проектов и данных рабочих пространств для автоматизированного формирования параметров календарного плана производства работ;
- методики оптимизации календарного плана производства работ с точки зрения стоимости и срока выполнения проекта, основанной на алгоритмах;
- информационной модели строительных работ с отображением рабочих пространств и определением их конфликтов в 4D BIM.

# Модели и методы оптимизации календарного плана строительства

За последнее время было проведено множество исследований, которые посвящены решению проблем оптимизации проекта планирования строительства. Эти исследования можно разделить на три группы, в зависимости от использованных методов: на основе математического программирования, на основе эвристических методов, на основе эволюционных алгоритмов.

Оптимизация планирования проектов сводится к управлению сложными системами, в которых время на поиск решений увеличивается в зависимости от размерности задачи. Использование алгоритмической оптимизации дает возможность справиться с недостатками других методов, а также позволяет достичь уменьшения времени, затрачиваемого на поиск решения

	Эвристические методы	Математические программирования	Алгоритмы
Преимущества	<ul style="list-style-type: none"><li>• просто понять</li><li>• Экономия времени на разработку</li><li>• приемлемые решения</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• дают оптимальное решение для небольших размеров проектов</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• могут решить масштабные проекты</li><li>• гарантируют оптимальное решение.</li><li>• дают диапазон возможных решений</li></ul>
Недостатки	<ul style="list-style-type: none"><li>• не гарантируют оптимальное решение</li><li>• не дают диапазон возможных решений</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• трудно формулировать</li><li>• не могут решить масштабные проекты</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• занимают много времени</li><li>• не дают указание о том, когда получается общее оптимальное решение</li></ul>

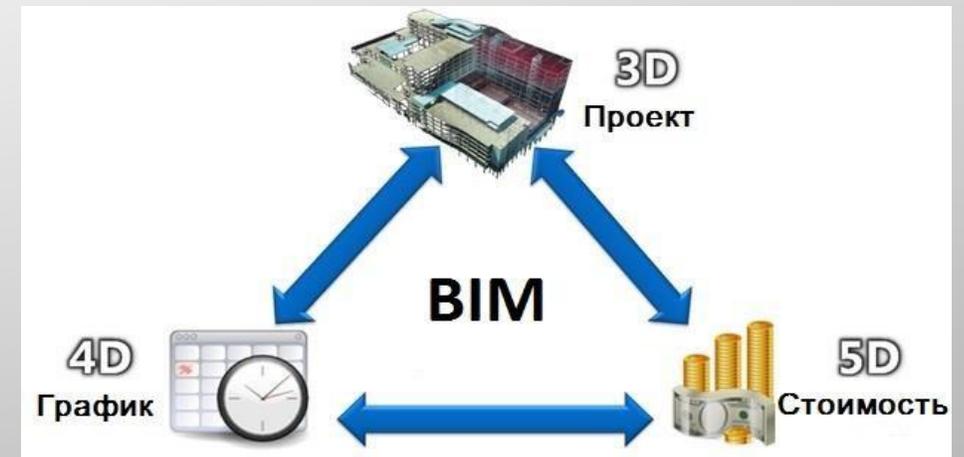
# Информационное моделирование зданий (BIM)

**Информационное моделирование здания (building information modeling, сокр. BIM)** – это технология оптимизации процессов проектирования и строительства, которая использует единую модель здания и позволяет обмениваться информацией о любом объекте между всеми участниками на протяжении всего жизненного цикла проекта. На начальном этапе формируется геометрическая модель здания, после чего модель дополняется различной информацией на всем протяжении процесса проектирования.

BIM может использоваться в различных областях, таких как:

- календарный план строительства, при помощи этого пользоваться может моделировать процесс строительства и показывать виртуальный вид здания на строительной площадке;
- оценка стоимости, при помощи BIM пользователь может создать точные и надежные оценки стоимости на основе данных, которые были получены автоматически из модели здания;
- обнаружение конфликтов конструкций из всех разделов проекта.

BIM может быть 3D, 4D (интеграция с временем), 5D (включая учет стоимости).

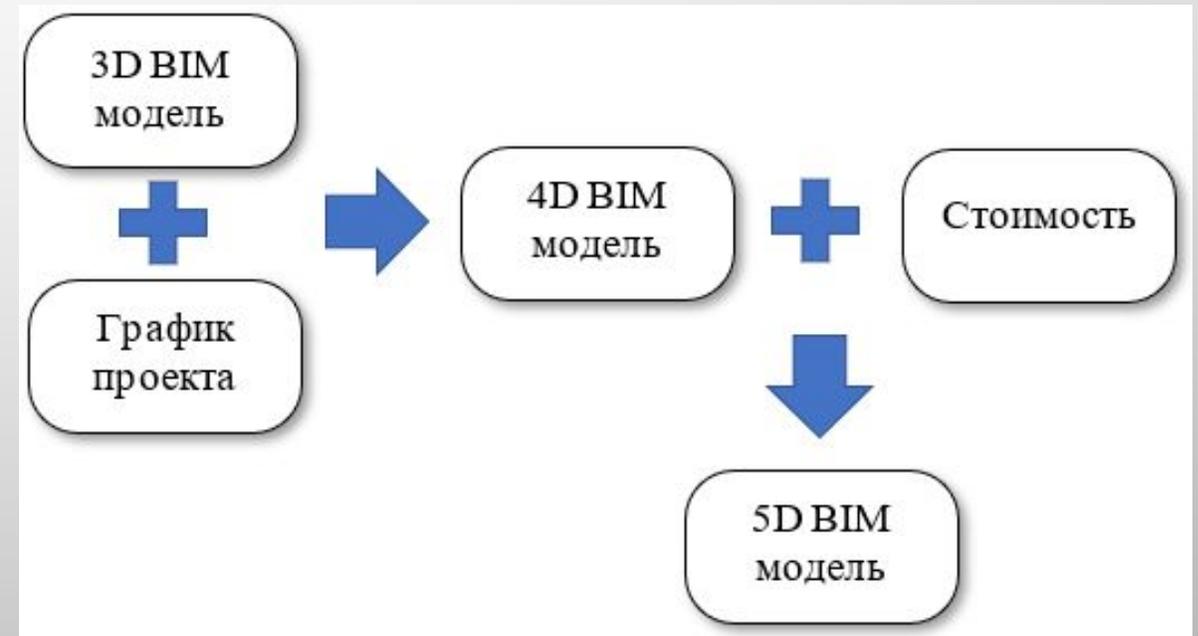


# Информационное моделирование зданий (BIM)

Трехмерная BIM модель содержит все необходимые пространственные отношения тех или иных элементов здания, топологическую информацию и геометрию о них, к примеру, длину, ширину и высоту компонентов здания.

Информационная четырехмерная модель может быть сформирована в результате объединения строительных работ календарного графика с соответствующими элементами проектной 3D моделью. 4D модель может использоваться не только для виртуального моделирования, но и для того, чтобы отслеживать реальный ход строительно-монтажных работ.

Создание 5D BIM модели основывается на добавлении в 4D-модель 5-го измерения - стоимости. 5D BIM образует связь данных о затратах с объемами работ, генерируя из 3D-модели, для обеспечения более точной оценки стоимости проекта.



# Автоматизация создания четырехмерной модели строительства

Четырехмерная модель строительства может визуализировать трехмерную модель проекта с анимацией, которая строится в соответствии с календарным планом строительства. Ежедневный анализ хода строительства позволяет находить различные конфликты и проблемы. В свою очередь, сбор информации, которая необходима для 4D анимации, занимает много времени.

Соответственно, задача исследования состоит в упрощении процесса планирования и составлении четырехмерной модели строительства для визуализации процесса строительства на ранней стадии планирования.

Эту методику можно разделить на несколько основных этапов: моделирование здания, планирование, расчет календарного плана и формирование четырехмерной модели.

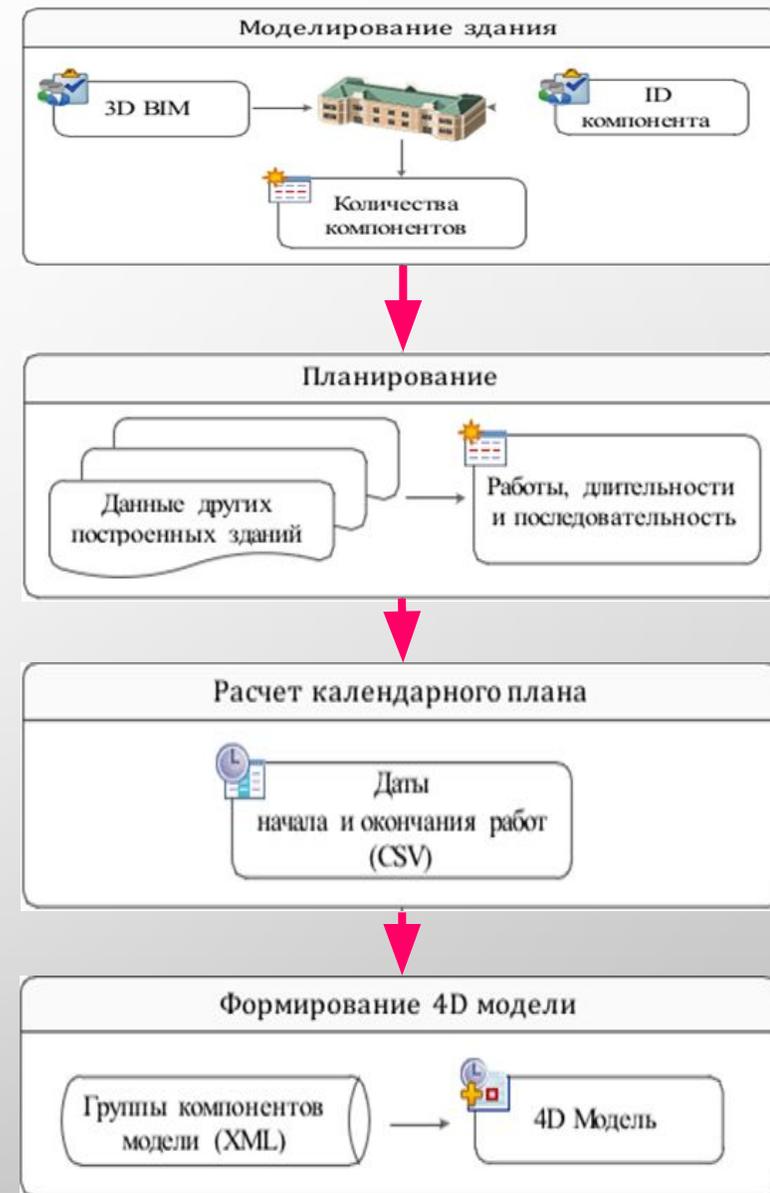
# Автоматизация создания четырехмерной модели строительства

1) На этапе моделирования создается информационная модель здания, которая включает в себя 3D модель и идентификационные параметры для всех компонентов (элементов конструкций). Построенная 3D модель здания экспортируется в программное обеспечение анализа информационной модели для автоматизированного извлечения количества различных компонентов модели здания и создания каталогов компонентов.

2) Этап планирования позволяет определить работы, оценить необходимые ресурсы, рассчитать длительность работ и определить их последовательность.

3) Для расчета календарного плана требуются следующие входные данные: набор работ, зависимости между работами, продолжительности каждой работы. Эти данные экспортируются в ПО управления проектами для расчета даты начала и даты окончания работ. Полученные даты начала и даты окончания работ сохраняются в формате CSV файла.

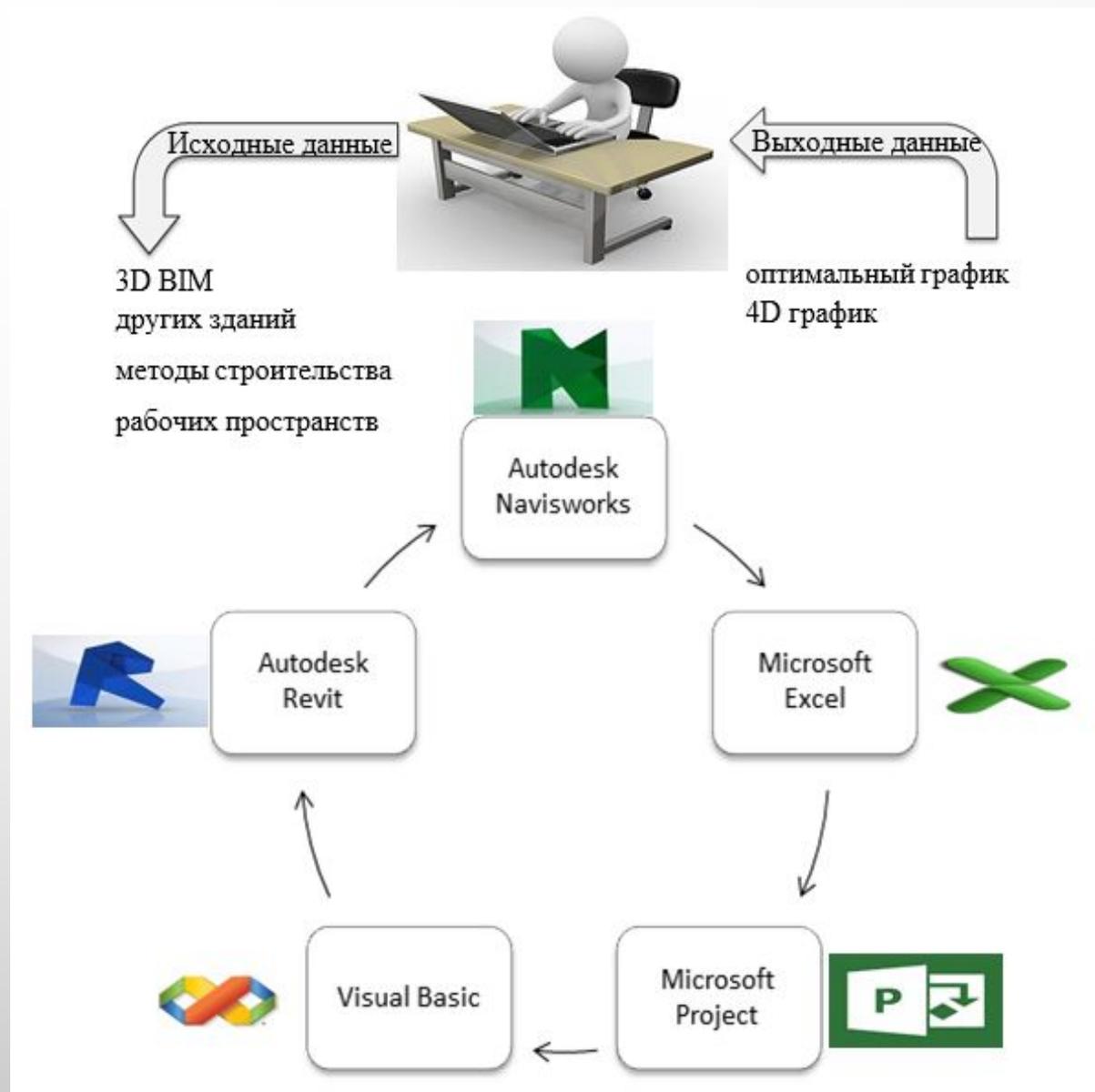
4) Календарный план строительных работ в формате CSV файла импортируются в программу виртуальной реальности. Одновременно в формате XML файла импортируются данные групп компонентов модели для визуализации процесса строительства.



# Компоненты программы оптимизации календарного плана

На этапе разработки методики учитывалась вероятность интеграции с другими программными комплексами, возможность проводить сложные вычисления за короткий промежуток времени, а также необходимость создания подходящего для пользователя интерфейса. Именно поэтому для реализации предлагаемой методики была выбрана утилита Project Schedule.

При выполнении проекта использовались четыре приложения, которые имеют возможность импорта данных между собой по средствам использования дополнительных плагинов, они получили широкое признание в проектной практике: Autodesk Revit, Autodesk Navisworks, Microsoft Excel и Microsoft Project.



# Практическая апробация разработанной методики

Проект представляет собой шестиэтажное здание отеля с бассейном и зонами отдыха. Площадь здания составляет 2 856 м<sup>2</sup>. Общая продолжительность проекта – 490 дней, общая стоимость строительства – 734 264 Евро (EUR).

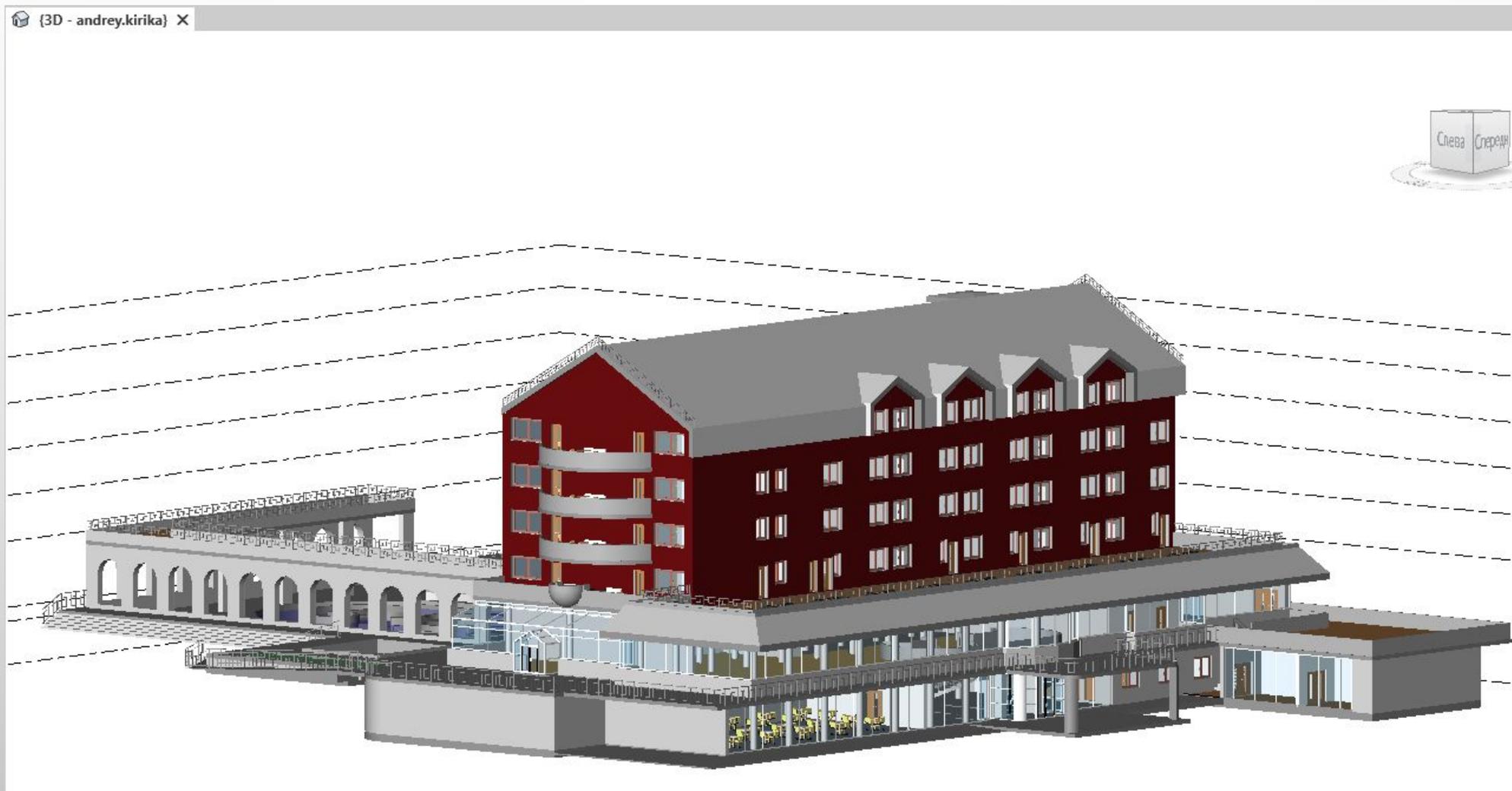
Данные в примере основаны на документах, которые были получены из проектного офиса «Академии BIM, Москва». С целью проверки предлагаемой модели, разработана информационная 3D-модель здания.

Процесс проектирования 3D-BIM состоял из следующих этапов:

- 1) анализ чертежей проекта;
- 2) анализ спецификаций проекта;
- 3) моделирование здания.

На основе чертежей и спецификаций данного примера, была создана информационная модель здания, которая включает в себя трехмерную модель и идентификационные параметры всех элементов конструкций. К основным элементам здания относятся фундаменты, колонны, стены, перекрытия, перегородки, лестницы, окна, двери и крыша.

# Практическая апробация разработанной методики / Revit



# Практическая апробация разработанной методики / Navisworks

На данном этапе построенная трехмерная модель здания экспортируется в программу Autodesk Navisworks, где формируется список компонентов здания, проводится классификация компонентов здания и определяются группы компонентов. В каталоге компонентов объединяется список компонентов здания и идентификационные коды компонентов. После чего производится автоматизированный расчет модели и параметров объекта для извлечения количества различных компонентов модели здания.

Рабочая книга Quantification

Выборка модели | Виртуальная выборка | Выбрать | Скрыть выборку | Показать выборку |  $f_x$  | Анализ изменений | Обновить

Выборка модели | Виртуальная выборка | Выбрать | Скрыть выборку | Показать выборку |  $f_x$  | Анализ изменений | Обновить

Элементы	WBS
Мебель	7.2
Ограждение	7.3
Окна	7.4
Перекрытия	7.5
Сантехнические приборы	7.7
Стены	7.8
<b>Базовая стена</b>	<b>7.8.1</b>
Помещения(51)	7.6
08_Чертак_+20.030	8
09_Крыша_+22.730	9

Статус	WBS	Имя	Площадь	Объем	Вес	Количество	Первоначальное кс
	7.8.1.3	Гипсокартон - 150 мм	385,106 м²	57,161 м³	0,000 kg	46,000 ea	
	7.8.1.4	Бетон - 350 мм!!!!	46,092 м²	15,848 м³	0,000 kg	7,000 ea	
	7.8.1.5	Вентфасад - 130 мм	329,446 м²	42,828 м³	0,000 kg	6,000 ea	

Статус	WBS	Объект	Площадь	Объем	Вес	Первоначальное количество
	7.8.1.3.45	Базовая стена	2,750 м²	0,413 м³	0,000 kg	
	7.8.1.3.46	Базовая стена	2,713 м²	0,375 м³	0,000 kg	
	7.8.1.4.1	Базовая стена	7,067 м²	2,474 м³	0,000 kg	
	7.8.1.4.2	Базовая стена	5,941 м²	1,985 м³	0,000 kg	
	7.8.1.4.3	Базовая стена	5,941 м²	1,985 м³	0,000 kg	

Активация Windows

# Определение последовательности работ, ресурсов, продолжительности и стоимости каждой работы

Данные расчета модели здания на этом этапе экспортировались для дальнейшей работы в программу Microsoft Excel. При использовании разработанного макроса Microsoft Excel и данных прошлых аналогичных проектов, были автоматически определены работы, требуемые для выполнения компонентов здания (фундаментов, колонн, перекрытий, стен, перегородок, лестниц, окон, дверей и крыша).

Далее работам были назначены ресурсы. Нормы выработки ресурсов в сутки и их нормы стоимости в сутки автоматически извлечены из нормативных документов. Были вычислены продолжительность и стоимость каждой работы. Также были определены логические отношения между работами.

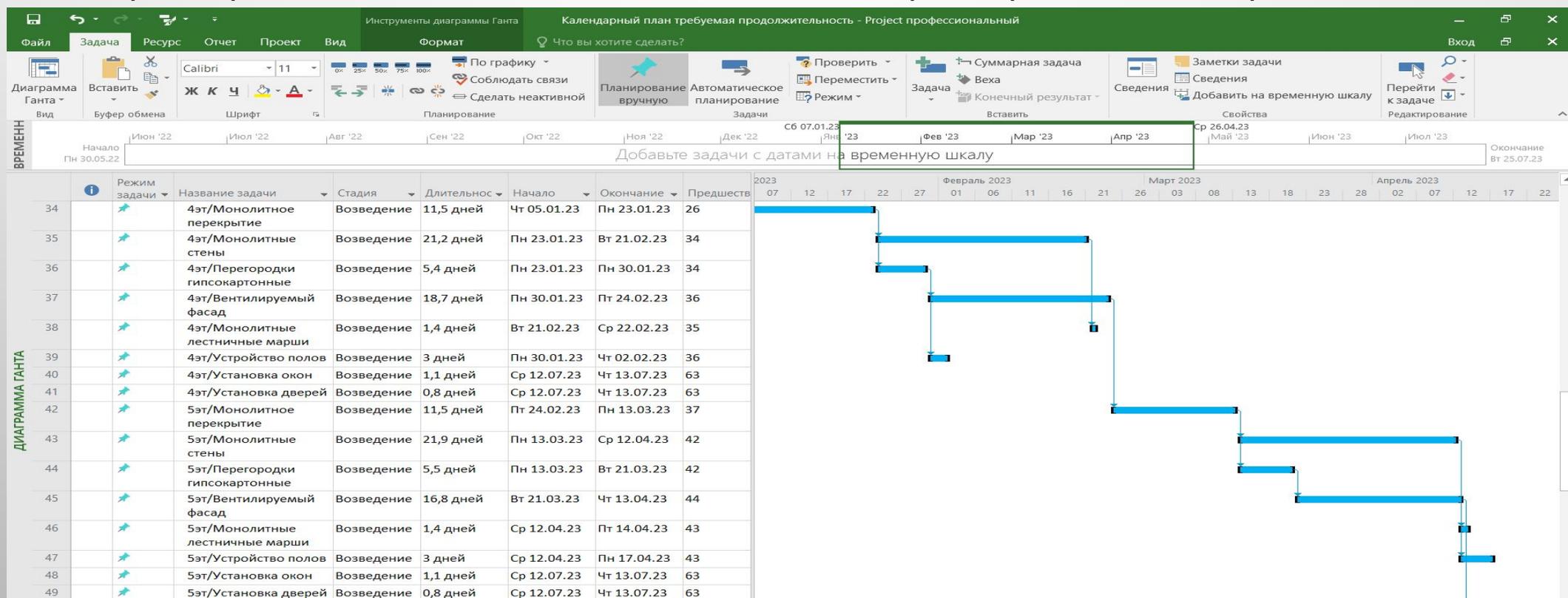
WBS	О	Группа1	Группа2	Группа3	Элемент	Ресур	Объект	Дли	Площадь	Пл	Объем	Количество	Кол
1679	3.11.1.1	03_Второй этаж_+3.	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!				109,411 м <sup>2</sup>		16,319 м <sup>3</sup>	17,000 ea	
1680	3.11.1.1.1	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена	7,485 м	7,938 м <sup>2</sup>		1,191 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1681	3.11.1.1.2	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (2)	3,150 м	3,229 м <sup>2</sup>		0,484 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1682	3.11.1.1.3	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (3)	14,085 м	14,684 м <sup>2</sup>		2,203 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1683	3.11.1.1.4	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (4)	13,600 м	14,280 м <sup>2</sup>		2,142 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1684	3.11.1.1.5	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (5)	20,410 м	21,352 м <sup>2</sup>		3,203 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1685	3.11.1.1.6	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (6)	4,275 м	3,915 м <sup>2</sup>		0,587 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1686	3.11.1.1.7	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (7)	1,700 м	1,530 м <sup>2</sup>		0,230 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1687	3.11.1.1.8	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (8)	4,275 м	3,780 м <sup>2</sup>		0,567 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1688	3.11.1.1.9	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (9)	7,690 м	8,338 м <sup>2</sup>		1,223 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1689	3.11.1.1.10	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (10)	7,690 м	8,337 м <sup>2</sup>		1,223 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1690	3.11.1.1.11	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (11)	9,457 м	9,960 м <sup>2</sup>		1,489 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1691	3.11.1.1.12	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (12)	1,895 м	2,061 м <sup>2</sup>		0,301 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1692	3.11.1.1.13	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (13)	2,511 м	2,674 м <sup>2</sup>		0,393 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1693	3.11.1.1.14	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (14)	1,312 м	1,299 м <sup>2</sup>		0,195 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1694	3.11.1.1.15	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (15)	1,312 м	1,456 м <sup>2</sup>		0,218 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1695	3.11.1.1.16	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (16)	2,511 м	2,709 м <sup>2</sup>		0,398 м <sup>3</sup>	1,000 ea	
1696	3.11.1.1.17	03_Второй этаж_+3.720	Стены	Базовая стена	Ограждение - 150 мм!!!!		Базовая стена (17)	1,895 м	1,869 м <sup>2</sup>		0,272 м <sup>3</sup>	1,000 ea	

171	6 этаж / Монтаж стен	Стены монолитные		891,047	225,038	Монтаж опалубки	0,39	347,508	43,4385		8,70	0,29	100,
172						Укладка бетонной смеси	1,2	270,046	33,7557		6,80	1,14	307,
173						Армирование	17	91,8155	11,4769		2,30	0,85	78,0
174						Разборка опалубки	0,21	187,12	23,39		4,70	0,14	26,1
175											22,50		

# Расчет календарного плана проекта

На этом этапе из среды Microsoft Excel в программу Microsoft Project экспортировались данные о всех работах, зависимости между работами и продолжительности каждой работы для получения точного и полного расписания проекта. Это расписание включает: расчет критического пути с выявлением критических работ, определение ранних и поздних времен завершения работ, определение резервов времени для некритических работ, определение времени начала и времени окончания проекта.

Полученные даты начала и даты окончания работ сохраняются в формате CSV файла, чтобы потом соединиться с трехмерной моделью здания для создания четырехмерной модели проекта.



# Оптимизация календарного плана проекта

Для того чтобы на примере опробовать предлагаемый алгоритм было сформировано два альтернативных календарных плана строительства по двум сценариям оптимизации при помощи плагина Project Schedule.

Данная утилита при помощи определенных алгоритмов определяет продолжительность каждой работы в отдельности и оптимальное сочетание длительностей работ.

Данные, которые вносятся включают в себя описание каждого вида работы в проекте, ее идентификационный номер, предшествующие работы, типы связей между работами, перерывы (так называемые лаги) между работами и альтернативные варианты для каждого вида работы, которые включают ее взаимосвязанные продолжительность и стоимость.

В свою очередь, алгоритм предлагает три возможных сценария оптимизации:

- 1) Least cost (минимизация стоимости проекта);
- 2) Least time (минимизация продолжительности проекта);
- 3) Target time (достижение требуемой продолжительности проекта).

# Оптимизация календарного плана проекта

К примеру, если продолжительность проекта составляет 402 дней, то это меньше нормальной продолжительности проекта на 21,89%, а стоимость проекта повышается на 5,43%.

	Время проекта	Стоимость проекта	Экономия/увеличение затрат	Экономия времени
Нормальный режим	490	734264	-	-
Минимальное время	402	774134	+ 5,43 %	21,89 %
Требуемое время	422	753942	+ 2,68 %	16,11 %

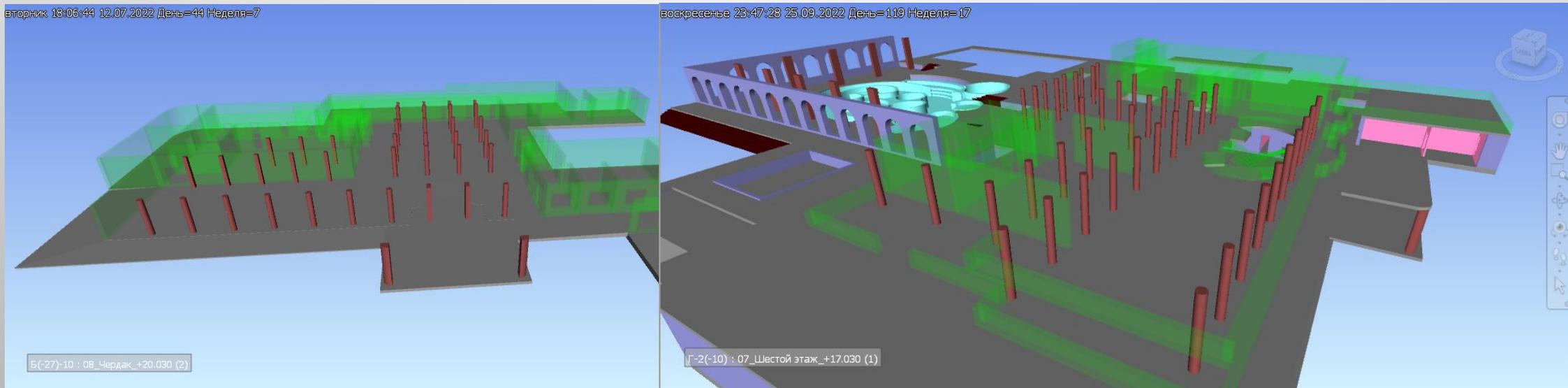
# Симулирование проекта (4D модель проекта)

В программе Autodesk Navisworks можно создать календарный план, либо импортировать его из программы Microsoft Project. Когда в программе Autodesk Navisworks описаны строительные работы, требуется связать работы и компоненты модели методом наложения взаимосвязей.

Существует два способа наложения взаимосвязей:

- явный выбор, то есть пользователь вручную выбирает элемент привязывает его к соответствующей строительной работе;
- автоматическое наложение взаимосвязей, при помощи идентификационного кода (ID)

При запуске симуляции четырехмерная модель проекта симулирует строительство модели здания в соответствии с датами начала и окончания строительства. Четырехмерная симуляция проекта позволяет визуализировать процесс строительства, что наглядно представляет информацию, легко воспринимаемую для понимания и представления всего процесса.



# Симулирование проекта (4D модель проекта)

The screenshot displays the Autodesk Navisworks Manage 2022 software interface. The main window shows a 3D model of a building project, including a large red building with a blue roof and a smaller structure with a glass facade. The interface includes a ribbon menu at the top with various toolsets such as 'Главная', 'Точка обзора', 'Рецензирование', 'Анимация', 'Вид', 'Выход', 'BIM 360 Glue', and 'Визуализация'. The 'Визуализация' (Visualization) toolset is currently active, showing options like 'Свойства', 'Clash Detective', 'TimeLiner', 'Quantification', 'Autodesk Rendering', and 'Animator'. The 'Animator' toolset is also visible, with options like 'Appearance Profiler', 'Batch Utility', and 'Сравнение'. The 'Свойства' (Properties) panel on the right shows 'Выбрано элементов: 0'. The status bar at the bottom indicates 'Автоматически сохранено: C:\Users\Star\AppData\Roaming\Autodesk\Navisworks Manage 2022\AutoSave\Готовая анимация.Autosave1.nwf' and '916 MB'. A Windows activation watermark is visible in the bottom right corner.

# Заключение

- Проанализированные научные и практические работы в области автоматизации проектирования и календарного планирования показывают, что по этим направлениям существует множество проблем, связанных с интеграцией информации, вычислением ресурсов, а также созданием универсальных способов поиска решения.
- Исследование построено на одной из методик автоматизации создания четырехмерной модели проекта на базе трехмерной модели здания, а также из информации аналогичных проектов, которые были апробированы ранее другими исследователями, путем интеграции различных стандартных программ компании Autodesk и Microsoft, и специальных программных плагинов.
- Разработана информационная модель, связанная с календарным планом строительства, для отображения рабочих процессов в четырехмерном формате ради сведения к минимуму конфликтов между параллельными работами.
- По данным исследования создана информационная модель шестиэтажного здания отеля с площадками отдыха, террасами и бассейном, что подтверждает работоспособность методики.

## Перспективы дальнейшей разработки темы

Дальнейшие направления исследования, находящиеся в рамках данной области – развитие автоматизации процесса календарного планирования, способствующие оптимизации продолжительности и стоимости строительных проектов.

Доклад закончен.

**БЛАГОДАРЮ ЗА ВНИМАНИЕ!**